

塑料成型 CAE

——Moldflow 应用基础

吴梦陵 张 琰 主 编

庄卫国 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书为读者学习塑料成型 CAE 技术和 Moldflow 的快速入门提供了良好的平台。全书共分 13 章, 主要包括: 注塑成型 CAE 技术绪论、聚合物的结构特点与常见塑料的性能、Moldflow 软件的基本操作、Moldflow 网格前处理以及实例分析、浇注系统冷却水路创建、浇注系统的平衡设计、浇口位置的不同对熔接痕的影响、基于正交试验工艺参数的优化分析方法和应用 Moldflow 解决具体问题的实例等内容。

本书可作为高等工科院校材料成型及控制工程专业本、专科学生或机械类其他专业学生的教材, 也可作为模具设计及产品设计、相关工程技术人员的参考书或自学教程。本书附带素材光盘, 内有范例的项目方案和部分范例的视频教学录像, 便于读者学习使用。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

塑料成型 CAE: Moldflow 应用基础 / 吴梦陵, 张珑主编. —北京: 电子工业出版社, 2010.6
ISBN 978-7-121-10962-1

I. ①塑… II. ①吴…②张… III. ①注塑—塑料模具—计算机辅助设计—应用软件, Moldflow—高等学校—教材 IV. ①TQ320.66-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 095820 号

责任编辑: 朱清江

特约编辑: 钟永刚

印 刷:

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 15.5 字数: 400 千字

印 次: 2010 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 4 000

定 价: 38.00 元 (含 DVD 光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

塑料成型是制造业中的一个主要组成部分，而流动模拟对塑料成型具有重要意义；运用塑料流动模拟能帮助设计人员优化成型工艺与模具结构，指导设计人员从成型工艺的角度改进产品形状结构、选择适合的塑料材料和成型设备，评判不同材料采用同一工艺与模具成型的可行性，分析可能出现的问题；达到降低生产成本、缩短模具开发周期的目的。

Moldflow 软件是美国 Moldflow 公司的产品，Moldflow 的产品用于优化制件和模具设计的整个过程，提供了一个整体解决方案。2008 年 6 月 12 日，设计软件领导厂商 Autodesk（欧特克）公司宣布收购 Moldflow 公司，进一步有助于 Autodesk 为企业提供更完善的塑胶制件最佳化设计工具，并进一步拓展现有数字化原型（Digital Prototyping）方案之技术产品完整性。

全书共分为 13 章。在介绍了注塑成型 CAE 技术的发展、注塑模 CAE 技术的国内外水平、注塑模 CAE 的发展趋势和聚合物的结构特点与常见塑料性能的基础上，详细介绍了 Moldflow 软件的基本操作、Moldflow 网格前处理以及实例分析。重点突出冷却水路创建、浇注系统的平衡设计、浇口位置的不同对熔接痕的影响等产品、工艺和模具的优化和设计方法。其中第 12 章详细介绍了基于正交试验工艺参数优化分析方法。第 13 章介绍了应用 Moldflow 解决具体问题的两个实例。本书内容全面，实例丰富，讲解详细，条理清晰。本书根据 Moldflow 中文版实际操作界面，直接截取软件中对话框、操作面板和按钮，使读者能直观、准确地操作软件进行学习。

本书由南京工程学院吴梦陵、张珑担任主编，吴梦陵编写了第 1、8、9、12、13 章，张珑编写了第 2、3、10、11 章；庄卫国担任副主编，编写了第 4、5、6、7 章。同时，杨一帆、张佳蓉、纪媛媛等为本书进行了校稿工作，在此深表感谢。

在编写本书的过程中，得到电子工业出版社和 Moldflow 公司大中华区的关心和帮助，也得到了南京工程学院以及兄弟院校、有关企业专家的大力支持和帮助，在此一并表示感谢，同时感谢所引用文献的作者，他们辛勤研究的成果也使得本书增色不少。

由于编者水平有限，书中难免有不当和疏漏之处，恳请使用本书的教师和广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1	第 4 章 Moldflow 用户界面及基本操作	57
1.1 注塑成型 CAE 技术的发展	1	4.1 Moldflow 用户界面	57
1.2 国内外注塑模 CAE 技术水平	4	4.1.1 窗口分布及简要说明	57
1.3 注塑模 CAE 的发展趋势	6	4.1.2 菜单栏和工具栏	58
1.4 Moldflow 软件介绍	7	4.2 菜单功能简介	59
第 2 章 聚合物的结构特点与常见塑料的性能	9	4.2.1 文件操作	59
2.1 聚合物的结构特点	9	4.2.2 编辑	61
2.2 常用塑料简介	11	4.2.3 视图	61
2.3 注塑制品注射过程中主要的缺陷	14	4.2.4 建模	62
2.3.1 欠注	14	4.2.5 网格	63
2.3.2 收缩凹陷	15	4.2.6 分析	63
2.3.3 翘曲变形	16	4.2.7 结果	64
2.3.4 变色焦化	17	4.2.8 报告	65
2.3.5 波流痕	17	4.2.9 工具	65
2.3.6 银纹	18	4.2.10 窗口和帮助	65
2.3.7 熔接痕	18	4.3 基本操作	66
2.3.8 产品黏模	18	4.3.1 分析项目管理	66
2.3.9 气穴	19	4.3.2 鼠标操作	67
2.3.10 溢料	19	第 5 章 基础建模	68
2.4 注塑条件对制品成型的影响	19	5.1 节点的创建	68
第 3 章 Moldflow 网格前处理	21	5.2 线的创建	69
3.1 概述	21	5.3 面（区域）的创建	72
3.2 网格的类型	22	5.4 多模腔创建	74
3.3 网格的划分	22	5.5 浇口创建	78
3.4 网格状态统计	24	5.5.1 浇口创建命令	78
3.5 网格处理工具	26	5.5.2 浇口属性设置	79
3.6 网格缺陷诊断	33	5.5.3 浇口曲线与柱体单元划分	80
3.7 网格处理实例	38	5.6 浇口创建实例	81
3.8 网格划分实例	40	5.6.1 侧浇口的创建	81
3.8.1 模型的网格划分	40	5.6.2 扇形浇口的创建	83
3.8.2 网格缺陷修改	41	5.6.3 顶针潜伏式浇口的创建	84
		5.6.4 牛角形（香蕉）浇口的创建	86
		5.7 冷流道浇注系统创建实例	88



第 6 章 冷却水路创建92	9.6.4 流道优化平衡分析小结.....152
6.1 冷却水路手动创建命令.....92	9.7 组合型腔优化后的流动分析.....153
6.2 冷却水路属性设置.....93	9.7.1 设计方案的调整及分析前处理.....153
6.3 冷却水路曲线与柱体单元划分.....94	9.7.2 分析计算.....155
6.4 循环式冷却水路创建实例.....95	9.7.3 结果分析.....156
6.5 挡板式水路创建实例.....97	第 10 章 浇口位置的不同对熔接痕的影响158
6.6 喷泉式水路创建实例.....99	10.1 概述.....158
第 7 章 工艺参数设置102	10.2 原方案熔接痕的分析.....158
7.1 分析序列的设定.....102	10.2.1 项目创建和模型导入.....158
7.2 物料的选择.....104	10.2.2 材料选择.....164
7.3 成型工艺参数的设置.....107	10.2.3 工艺过程参数的设定和分析计算.....165
7.3.1 成型工艺参数.....107	10.3 改进原始方案.....168
7.3.2 成型工艺参数的设置.....109	10.3.1 增加加热系统后的分析.....168
第 8 章 最佳浇口位置设计112	10.3.2 分析计算.....173
8.1 浇口设计原则.....112	10.3.3 结果分析.....175
8.2 最佳浇口位置设计.....113	10.4 对浇口位置和形式改变后的分析.....176
8.2.1 分析前处理.....113	10.4.1 分析前处理.....176
8.2.2 产品初始成型分析.....116	10.4.2 分析计算和结果分析.....183
8.2.3 原设计方案优化后的分析.....120	第 11 章 注射成型流动模拟结果的分析185
8.2.4 计算结果分析.....123	11.1 流动模拟结果分析.....185
第 9 章 浇注系统的平衡设计125	11.2 分析报告的生成.....202
9.1 概述.....125	11.3 动画和图片的保存.....205
9.2 lock-left 的浇口位置分析.....128	第 12 章 基于正交试验工艺参数优化分析207
9.2.1 分析前处理.....128	12.1 正交实验概述.....207
9.2.2 分析计算.....129	12.2 数值模拟与正交试验方法结合的多工艺参数优化.....209
9.2.3 结果分析.....130	12.2.1 基于正交试验多工艺参数优化.....209
9.3 lock-right 的浇口位置分析.....131	12.2.2 单个因素影响的试验.....212
9.3.1 分析前处理.....131	第 13 章 Moldflow 分析案例219
9.3.2 结果分析.....132	13.1 汽车保险杠.....219
9.4 handspike 的浇口位置分析.....133	13.2 录音机前面板.....225
9.4.1 分析前处理.....133	13.2.1 方案 1（原始浇注系统）.....226
9.4.2 结果分析.....133	13.2.2 方案 2（只改变流道尺寸）.....232
9.5 组合型腔的充填分析.....134	13.2.3 方案 3（改变浇注系统）.....234
9.5.1 分析前处理.....135	13.2.4 方案 4（采用热流道系统）.....236
9.5.2 分析计算.....143	13.3 优化冷却系统，缩短成型周期.....238
9.5.3 结果分析.....143	参考文献242
9.6 组合型腔的流道平衡分析.....145	
9.6.1 分析前处理.....146	
9.6.2 分析计算.....149	
9.6.3 结果分析.....150	



1.1 注塑成型 CAE 技术的发展

塑料成型是制造业中的一个重要组成部分，而流动模拟对塑料成型具有重要意义。运用塑料流动模拟能帮助设计人员优化成型工艺与模具结构，指导设计人员从成型工艺的角度改进产品形状结构、选择合适的塑料材料和成型设备，评判不同材料采用同一工艺与模具成型的可行性，分析可能出现的问题，达到降低生产成本、缩短模具开发周期的目的。对于一般简单的塑料制品（简称制品）的成型，只进行流动模拟分析即可，但对于复杂精密塑件的成型，不仅要对流动过程进行模拟分析，还需要对充模、保压过程中塑件与模具的冷却进行分析，甚至需要分析开模后塑件的残余变形与应力等。

成型过程数值模拟是模具 CAE 中的基础，目前，所采用的数值模拟方法主要有两种：有限元法和有限差分法。一般在空间上采用有限元方法，而当涉及时间时，则运用有限差分法。CAE 软件的应用过程如图 1-1 所示。首先根据制品的几何模型剖分具有一定厚度的三角形单元，对各三角形单元在厚度方向上进行有限差分网格剖分，在此基础上，根据熔体流动控制方程在中性层三角形网格上建立节点压力与流量之间的关系，得到一组以各节点压力为变量的有限元方程，解方程组求得节点压力分布，同时将能量方程离散到有限元网格和有限差分网格上，建立以各节点在各差分层对应位置的温度为未知量的方程组，求解方程组得到节点温度在中性层上的分布及其在厚度方向上的变化，由于压力与温度通过熔体黏度互相影响，因此，必须将压力场与温度场进行迭代耦合。

其中，数值分析采用有限元/有限差分混合法，其基本步骤：根据前一时间步的压力场计算出流入各节点控制体积的流量，根据节点控制体积的充填状况更新流动前沿，在此基础上根据能量方程计算当前时刻的温度场，再根据温度场计算熔体的黏度和流动率等，形成压力场的整体刚度矩阵。为保证新引入的边界条件，需要对整体刚度矩阵进行修正，解压力方程组求得节点压力分布。由于流动率的计算依赖于压力分布，因此，压力场控制方程是非线性方程，需对压力场进行迭代求解。重复上述计算过程直到整个型腔被充满。充模流动模拟的数值计算流程如图 1-2 所示。

注塑成型流动模拟技术不断的改进和发展，经历了从中面流技术到双面流技术再到实体流技术这三个具有重大意义的里程碑。

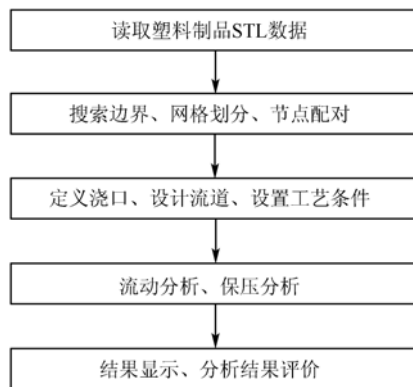


图 1-1 CAE 软件的应用过程



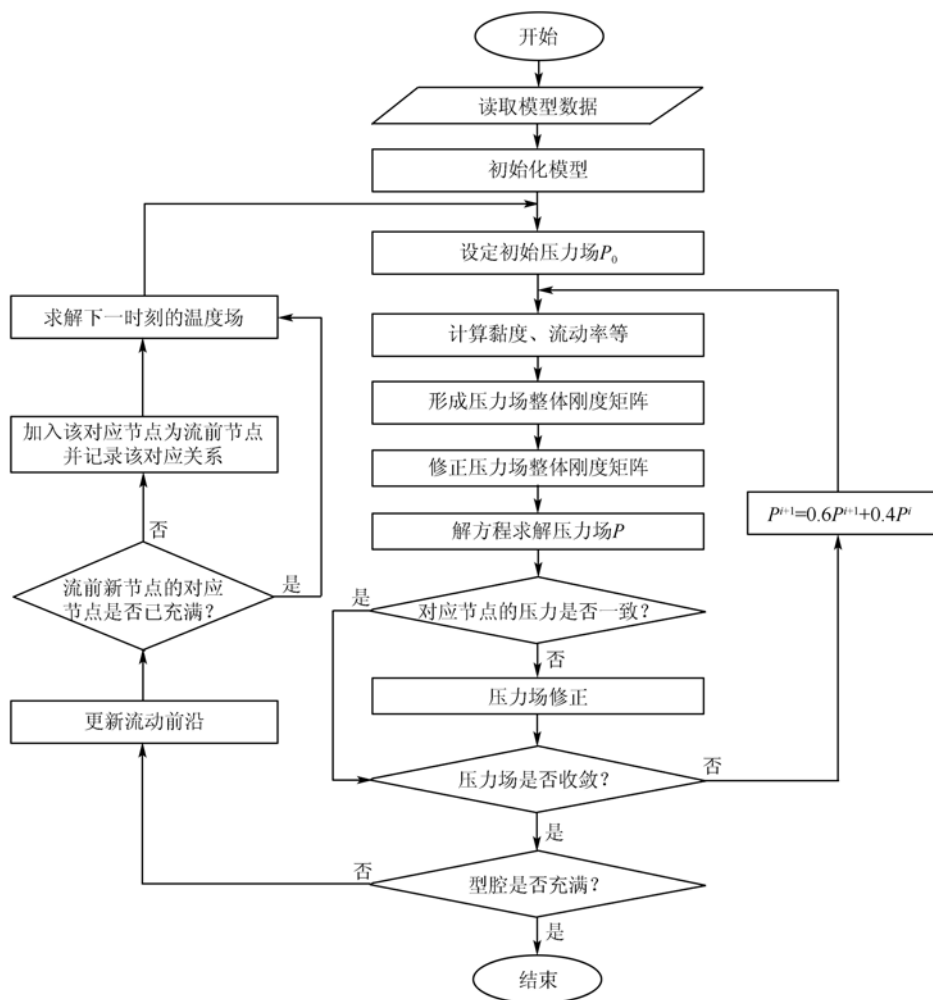


图 1-2 充模流动模拟的数值计算流程图

(1) 中面流技术

中面流技术的应用始于 20 世纪 80 年代。其数值方法主要采用基于中面的有限元/有限差分/控制体积法。中面是需要用户提取的位于模具型腔面和型芯中间的层面，基于中面流技术的注塑流动模拟软件应用的时间最长，范围也最广，其典型代表如国外 Moldflow 公司的 MF 软件、原 AC-Tech 公司（被 Moldflow 公司并购）的 C-Mold 软件，国内华中科技大学国家模具技术国家重点试验室的 HSCAE-F3.0 软件。实践表明，基于中面流技术的注塑成型流动软件在应用中具有很大的局限性：①用户必须构造出中面模型，采用手工操作直接由实体/表面模型构造中面模型十分困难；②独立开发的注塑成型流动模拟软件（如上述的 Moldflow、C-Mold 和 HSCAE-F3.0 软件）造型功能较差，根据产品模型构造中面往往需要花费大量的时间；③由于注塑产品的千变万化，由产品模型直接生成中面模型的 CAD 软件的成功率不高、覆盖面不广；④由于 CAD 阶段使用的产品模型和 CAE 阶段使用的分析模型不统一，使二次建模不可避免，CAD 与 CAE 系统的集成也无法实现。由此可见，中面模型已经成为了注塑模 CAD/CAE/CAM 技术发展的瓶颈，采用实体/表面模型来取代中面模型势在必行，在 20 世纪 90 年代后期，基于双面流技术的流动模拟软件便应运而生。



(2) 双面流技术

双面流是指将模具型腔或制品在厚度方向上分成两部分,有限元网格在型腔或制品的表面产生,而不是在中面。相应地,与基于中面的有限差分法是在中面两侧进行不同,厚度方向上的有限差分仅在表面内侧进行。在流动过程中上下两表面的塑料熔体同时并且协调地流动。显然,双面流技术所应用的原理和方法与中面流没有本质上的差别,所不同的是双面流采用了一系列相关的算法,将沿中面流动的单股熔体演变为沿上下表面协调流动的双股流。由于上下表面处的网格无法一一对应,而且网格形状、方位与大小也不可能完全对称,如何将上下对应表面的熔体流动前沿所存在的差别控制在工程上所允许的范围内是实施双面流技术的难点所在。

目前,基于双面流技术的注塑流动模拟软件主要是接受三维(3D)实体/表面模型的 STL 文件格式。该格式记录的是 3D 实体表面在经过离散后所生成的三角面片。现在主流的 CAD/CAM 系统,如 UG、Pro/E、SolidWorks、AutoCAD 等,均可输出 STL 格式文件。这就是说,用户可借助于任何商品化的 CAD/CAM 系统生成所需制品的 3D 几何模型的 STL 格式文件,流动模拟软件可以自动将该 STL 文件转化为有限元网格模型供注塑流动分析,这样就大大减轻了使用者建模的负担、降低了对使用者的技术要求。因此,基于双面流技术的注塑流动模拟软件问世时间虽然只有短短数年,便在全世界拥有了庞大的用户群,得到了广大用户的支持和好评。双面流技术具有明显优点的同时也存在着明显的缺点:分析数据不完整。双面流技术在模拟过程中虽然计算了每一流动前沿沿厚度方向的物理量,但并不能详细地记录下来。由于数据的不完整,造成了流动模拟与冷却分析、应力分析、翘曲分析集成的困难。此外,熔体仅沿着上下表面流动,在厚度方向上未作任何处理,缺乏真实感。

(3) 实体流技术

从某种意义上讲,双面流技术只是一种从二维半(2.5D)数值分析(中面流)向 3D 数值分析(实体流)过渡的手段。要实现塑料制品的虚拟制造,必须依靠实体流技术。实体流技术在实现原理上仍与中面流技术相同,所不同的是数值分析方法有较大差别。在中面流技术中,由于制品的厚度远小于其他两个方向(常称流动方向)的尺寸,塑料熔体的黏度大,可将熔体的充模流动视为扩展层流,于是熔体的厚度方向速度分量被忽略,并假定熔体中的压力不沿厚度方向变化,这样才能将 3D 流动问题分解为流动方向的 2D 问题和厚度方向的一维分析。流动方向的各项待求量,如压力与温度等,用 2D 有限元法求解,而厚度方向的各项待求量和时间变量等,用一维有限差分法求解。在求解过程中,有限元法与有限差分法交替进行,相互依赖。在实体流技术中熔体的厚度方向的速度分量不再被忽略,熔体的压力随厚度方向变化,这时只能采用立体网格,依靠 3D 有限差分法或 3D 有限元法对熔体的充模流动进行数值分析。因此,与中面流或双面流相比,基于实体流的注塑流动模拟软件目前所存在的最大问题是计算量巨大、计算时间过长,例如,电视机外壳或洗衣机缸这样的塑料制品,用现行软件,在目前配置最好的计算机上仍需要数百小时才能计算出一个方案。如此冗长的运行时间与虚拟制造的宗旨大相径庭,塑料制品的虚拟制造是将制品设计与模具设计紧密结合在一起的协同设计,追求的是高质量、低成本和短周期。如何缩短实体流技术的运行时间是目前注塑成型计算机模拟领域的研究热点和当务之急。



1.2 国内外注塑模 CAE 技术水平

注塑模 CAE 技术的发展大致经历了三个阶段：①技术探索阶段（20 世纪 60~70 年代）；②蓬勃发展时期（20 世纪 70~80 年代）；③成熟推广时期（20 世纪 90 年代）。

早在 20 世纪 50 年代，美国学者就对聚合物过程（尤其是塑化挤出）的数值模拟建模作了一系列工作，同期，瑞士的学者给出了有关挤出的重要模型。1959 年，Bernhardt 在书中总结了成型建模中的许多问题。Mckelvey 在书中首次成功地描述了一个统一的方法，即采用质量守恒以及相变换的原理描述问题。Tadmor 和 Klein 在书中首次给出了塑化挤出的完整模型，包括固体输送、塑化和熔体输送等。20 世纪 70 年代初期，有关塑化挤出模拟的软件 EXTRUD 已商品化，该软件很大程度上是基于 Tadmor 和 Klein 书中所描述的模型。

20 世纪 70 年代以来，很多大学和研究者们都致力于注射、挤出和其他工艺的计算模型的研究。然而，这些计算模型对加工技术产生的影响并不大，直到 1978 年才产生了第一个注塑成型充填阶段的模拟软件 Moldflow。20 世纪 80 年代，随着 C-MOLD 软件的问世及其他一些软件广泛用于注射成型过程，模具设计才成为依赖于计算机预测的工程科学。

自 20 世纪 80 年代以来，北美和欧洲的许多研究小组对聚合物熔体流经管道、口模和成型设备的各个方面进行了深入的调查、研究，推出了关于聚合物流动的有限元分析软件 FIDAP，POLYFLOW、NEKTON 和 POLYCAD 等。

20 世纪 90 年代，研究重点集中于材料的黏弹性、复杂 3D 模拟以及取向、残余应力和固化现象的研究。另外，计算方法在双螺杆挤出、热成型、薄膜吹塑、反应注射成型和气体辅助注射成型的工艺条件设定方面的应用，也成为研究热点，其中代表性的成果如下：

①澳大利亚 Moldflow 公司的 Moldflow Plastics Advisers——塑料产品及模具设计的 CAD 整合方案；Moldflow Part Insight——专业模流分析；Moldflow Mold Xpert——运用于注塑机及控制器的计算机辅助分析专家系统。

②美国 Advanced CAE Technology 公司（2000 年 2 月 11 日被 Moldflow 公司兼并）推出的注塑模 CAE 系统 C-MOLD，包括 C-Flow（流动分析）、C-Park（保压分析）、C-Cool（冷却分析）、C-Park/W（保压及简单翘曲分析）、C-Design（结构设计、成本估算等）。

③德国 IKV 塑料工程研究所的 CADMould 系列，能系统地进行注塑模的流变分析、热力学分析及结构设计。

④加拿大 McGill 大学的 McKAM-II 系统，能模拟注塑过程的流动、保压和冷却各个阶段。

⑤美国和意大利 Plastic-Computer Inc. 的 TMConcept 专家系统。

⑥美国 Structure Dynamics Research Corporation (SDRC) 的 Polyfill 和 Polycool-2 软件，分别进行注塑成型的流动和冷却分析。

⑦美国 GRAFTEK Inc. 的注塑模 CAD/CAM/CAE 集成系统。包括 OPTIMMOLDIII（3D 几何造型）、SIMUFLOW（2D 流动模型）、SIMUFLOW3D（3D 流动分析）、SIMUCOOL（2D 冷却分析）、OPTIMOLD（模具结构设计）。

⑧美国 Paulson Seminar Programs Inc. (PSP) 的 IMES 专家系统。

⑨美国 Application 的注塑模流动分析软件 Moldfill 和冷却分析软件 Moldcool。

我国注塑模 CAE 研究始于 20 世纪 70 年代末，发展也很迅速。早期的开发工作仅限于



注塑模具 CAD 系统和 2DCAE 的研究。到 90 年代受国外引进的先进的注塑模具 CAE 技术的影响,才开始较复杂 3D 成型和冷却系统的 CAE 研究。由于开发 CAD/CAE 系统需要较系统、成熟的图形软件支撑,而在 80 年代中期,国内还没有较好的图形软件,当时 AutoCAD 系统的引入,使绝大部分二次开发软件都是基于这样一个平台,因此,国内自行开发的注塑模具 CAD/CAE 系统大多是在 AutoCAD 系统上进行的。

华中科技大学塑性成型模拟及模具技术国家重点实验室从 1985 年开始,通过“七五”、“八五”、“十五”期间国家重点攻关和国家自然科学基金项目的支持,系统而深入地开展了塑料注塑成型仿真软件系统的研究和开发。从 1989 年推出的 HSCAE 1.0 版到 2005 年的 HSCAE 6.10 版,经历了从 2D 分析到 3D 分析,从实用化到商品化,从局部试点到大面积推广应用的进程,成功研发出了具有中国特色、达到当前国际先进水平的商品化塑料注塑成型集成化仿真系统 HSCAE 6.10 版。从 HSCAE 1.0 版起,该系统建立了一个基于知识的注塑模缺陷诊断专家系统 KBDDDES。采用非精确推理及确定性理论,按人类专家处理问题的思维方式来协调各专家对问题假设的不确定性,并应用正反混合推理的控制策略,对常见的注塑件缺陷及注射过程中的故障进行,得出结论并给出避免缺陷或故障的方法及建议。

郑州工业大学模具研究所自 1987 年开始投入模塑模具及橡塑成型加工技术的研究与开发,经过十余年努力,开发出具有我国自主知识产权的橡塑制品成型计算机模拟及计算机模拟优化设计集成系统 Z-MOLD,现已在轻工、化工、汽车、电子等数十家企业的近百种精密模具及制品的设计制造中得到应用。该软件具有优化产品设计(壁厚、材料等)、模具设计(浇注系统、冷却系统)、成型工艺条件(料温、模温、注射速率、保压时间、冷却时间等)、提高一次试模成功率。动态模拟充填过程、熔接线和气穴位置、注射压力和锁模力、保压压力和体收缩率、冷却时间及模壁温度、冷却管道效率等功能。

上海交通大学从 1983 年起开始对注塑模具的计算机应用进行了多层次的研究,并在国内首次把人工智能技术引入注塑模具的 CAD 系统中。1987 年,开发了实用化的注塑模具 CAD 系统,并应用于洗衣机内缸等大型塑料件的设计上,取得了实用化的应用。1989 年,开发了一套集成化注塑模具智能 CAD 系统,目前,正在开发一个智能化的 CAD/CAE 系统,基于工作站 UG 为图形支撑环境,以 Moldflow 为分析系统,用 ANSYS 来实现。

中国科技大学 1995 年开发了一个在计算机运行的注塑模 CAD 系统,该系统是以 AutoCAD 和 SAP 有限元计算模块为支撑,该系统成为广义的 CAD 系统即具有 CAD/CAE 的功能,应用了曲面造型技术和有限元分析计算冷却系统(2D 技术),并有效解决了计算机内存资源有效利用的难题。

浙江大学从 1994 年起开发了一套精密注塑模 CAD/CAE 系统,该系统主要针对录像带塑料模具的国产化而解决精密注塑模设计和制造问题。它是基于工作站 UG 为图形支持平台,以 Moldflow 实现 CAE 过程,其特点主要以特征造型来构造产品模型,从而解决了几何造型系统不能表达工艺信息等问题,这是以前系统所不能解决的问题。

东南大学于 1995 年开发了一套计算机环境下运行的注塑模具 SEIMCAD 系统,该系统也是基于计算机和 AutoCAD 来开发 3D 线框图形软件,可以实现产品输入、型腔设计、常规设计、注塑过程模拟分析及前后处理和提供 CAM 的界面接口等功能,较好地解决了线框模型到面模型的转换,成型过程模拟和流道系统设计等一些关键技术,是一个 CAD/CAE 技术的全面实现并为 CAM 的实现做好了准备。

各科研院所经过十多年的不懈努力,在注塑模 CAD/CAE 领域取得了长足的进步,软件



的国有化比重在不断增加。

1.3 注塑模 CAE 的发展趋势

随着科学技术的迅速发展,互联网技术的普及和全球信息化,注塑模 CAE 技术功能进一步扩充,性能也进一步提高,呈现出如下的发展趋势。

(1) 用 3D 实体模型取代中心层模型

3D 分析(实体流技术)正在被应用到共注塑成型、多次注射成型、气体辅助成型、组合模腔成型和叠模成型。仿真软件分析 3D 的纤维取向和翘曲,3D 技术非常重要。因为 2.5D(双面流技术)只能表明纤维在一个平面上的取向,而 3D 可以表明纤维在各个角度的取向。3D 分析提供的信息是 2.5D 所无法比拟的,如湍流与层流的辨识、熔融物料中的气泡、喷射和重力的影响等。3D 模拟还可以了解模具本身的情况。在 2.5D 模拟中,在模具中嵌入一个镶件后,需要生成相应网格,然后计算热量是怎样穿过这个镶件的。但是在 3D 模拟中,进入模型就可以观察到温度变化。我国台湾的 Moldex3D 和德国的 Sigmasoft 等,几乎都无一例外地专注于 3D 领域。Moldflow 为其最新的 Moldflow Plastics Insight 分析软件包开发了几种新模块,包括预测纤维取向、翘曲和厚壁制品中的热-力学性能分析的 MPI 3D 模块。Moldflow 在其 3D 软件中扩展了创建热固性塑料制品模型的能力。Moldflow Plastics Insight 分析软件包支持 64 位计算机,可以较快地创建大的模型。如图 1-3 所示为 Moldflow 网格的三种有限单元模型。

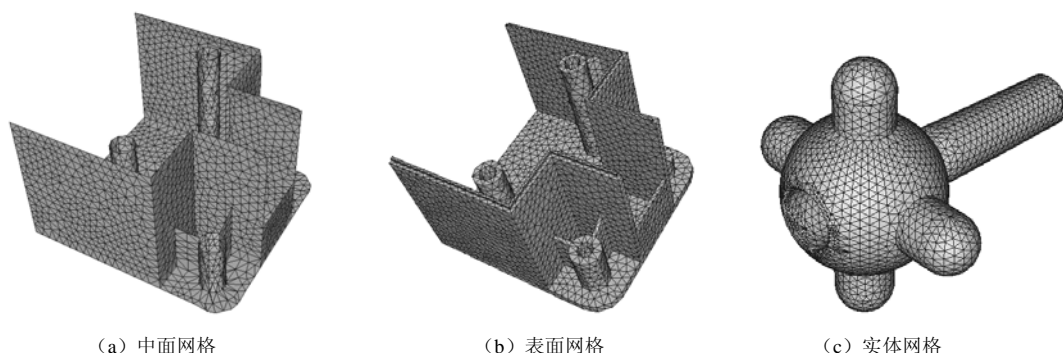


图 1-3 Moldflow 网格的三种有限单元模型

(2) 有限元、有限差分、控制体积方法的综合运用

注塑制品是薄壁制品,制品厚度方向的尺寸远小于其他两个方向的尺寸,温度等物理量在厚度方向的变化又非常大,若采用单纯的有限元或有限差分方法势必造成分析时间过长,无法满足模具设计与制造的实际需要。在流动平面采用有限元法,厚度方向采用有限差分法,分别建立与流动平面和厚度方向尺寸相适应的网格并进行耦合求解,在保证计算精度的前提下使得计算速度满足工程的需要,并采用控制体积法解决了成型中的移动边界问题。对于内外对应表面存在差异的制品,可划分为两部分体积,并各自形成控制方程,通过在交接处进行插值对比保证这两部分的协调。

(3) 数值计算与人工智能技术的结合

优选注塑成型工艺参数一直是广大模具设计人员关注的问题,传统的 CAE 软件虽然可



以在计算机上仿真出指定工艺条件下的注塑成型情况，但无法自动对工艺参数进行优化。使用人员必须设置不同的工艺条件进行多次 CAE 分析，并结合实际经验在各方案之间进行比较，才能得出较满意的工艺方案。同时，在对零件进行 CAE 分析后，系统会产生有关该方案的大量信息（制品、工艺条件、分析结果等），其中分析结果往往以各种数据场的形式出现，要求用户必须具备分析和理解 CAE 分析结果的能力，所以传统的 CAE 软件是一种被动式的计算工具，无法提供给用户直观、有效的工程化结论，对软件使用者的要求过高，影响了 CAE 系统在更大范围内的应用和普及。

（4）制品与流道系统的 3D 流动保压集成分析

流道系统一般采用圆柱体单元，而制品采用的是三角形单元，注塑模 CAE 系统可以采用半解析法解决混合单元的集成求解问题，这样，不仅能分析一模一腔大型复杂的制品，而且能够分析一模多腔小型精密制品，大大拓宽了系统的使用范围。

（5）塑料制品熔合纹预测的高效算法

熔合纹对制品的强度、外观等有重要影响，准确预测熔合纹位置是仿真过程的难题。注塑模 CAE 系统通过节点特征模型方法大大提高了熔合纹预测的准确性和效率，并利用神经网络方法对熔合纹的影响程度作出定性评价，为用户对成形质量的评估提供了直接的判断依据。

注塑模 CAE 技术的发展，给模具行业带来了一场技术革命。但因为塑料熔体是非牛顿黏弹性流体，制品结构复杂，成型充模流动过程的非稳态、非等温性，使充模过程的数值模拟相当复杂，所以，在程序实现时作了一些假设，建模过程进行了适当简化，这样计算结果精度与实际结果会有偏差，然而总体趋势与实际结果是一致的。由于进行 CAE 分析时还要重新建模，不能充分利用产品设计的 3D 模型，造成重复劳动。国外注射模软件商已开始着手于集成化的 CAD/CAE 技术研究，并有商品化软件形成。虽然这些软件能识别 CAD 的 3D 图形，但集成的 CAD/CAE 软件本身不具备建立浇注系统、冷却管网等的功能，使分析应用范围大大减小。

1.4 Moldflow 软件介绍

Moldflow 软件是 Moldflow 公司的产品，该公司自 1976 年发行了世界上第一套塑料注塑成型流动分析软件以来，几十年来以不断的技术改革和创新一直主导着 CAE 软件市场。2000 年 4 月，Moldflow 公司收购了另一个世界著名的塑料成型分析软件公司 C-MOLD。提出了“进行广泛的注塑过程分析”的理念。2008 年 6 月 12 日，设计软件领导厂商 Autodesk 公司宣布完成收购 Moldflow 公司，并将进一步集成现有全球性支持机制及经销合作伙伴，持续为 Moldflow 用户提供产品维护及服务；现持有 Moldflow 维护合约（Maintenance Agreement）的用户，将转入 Autodesk Subscription 产品维护及服务合约之中。

Moldflow 的产品用于优化制件和模具设计的整个过程，提供了一个整体解决方案。Moldflow 软硬件技术为制件设计、模具设计、注塑生产等整个过程提供了非常有价值的信息和建议。Moldflow 系列产品包括：①塑件顾问系列（Moldflow Plastic Advisers）；②高级成型分析（Moldflow Plastic Insight）；③专家试模系统（Moldflow Manufacturing Solution）。高级成型分析（Moldflow Plastic Insight）在功能上可以划分为以下内容。

（1）MPI/Fusion（双层面网格模型），分析形状特征复杂的薄壳类塑胶零件。它基于



Moldflow 的独家专利的 Dual Domain（双层面）分析技术，直接从 CAD 软件中提取实体表面产生网格。Fusion 网格大大降低前期网格处理时间，能快速对产品进行流动、冷却、翘曲等分析。它以最快的网格处理及最佳的网格质量和准确的分析结果成为应用广泛的薄壁件分析的网格形式。

（2）MPI/3D（3D 实体模型），模拟粗厚件产品的塑料流动分析。

（3）MPI/Midplane（中间面网格模型），分析肉厚较均匀的薄壳类塑胶零件。它提取实体壁厚的中间面作为网格外形，并赋予它厚度，使用较少的网格数目快速分析得到最精确的分析结果。

（4）MPI/Flow（流动分析、优化充填和保压阶段），模拟射出成型过程中熔胶流动行为模式，以确保产品设计、质量及制造的可行性。

（5）MPI/Cool（冷却分析），塑料射出和保压阶段被最佳化后的进一步分析。

（6）MPI/Warp（翘曲变形分析），预测塑料产品在开模后的收缩和翘曲结果。

（7）MPI/Gas（气体辅助注塑分析），仿真压力控制或体积控制两种模式在气体辅助射出成型运用。

（8）MPI/Stress（应力分析），分析塑件产品在受外界载荷情况下的机械性能，在考虑到注塑工艺条件下，优化塑料制品的强度和刚度。

（9）MPI/Shrink（收缩分析），提供精确的收缩量评价和透过模具外形的收缩变化以确保预测产品收缩的尺寸。

（10）MPI/Optim（注塑机参数优化分析），射出成型条件最佳化工具，能够自动处理生产过程中决定射出成型条件。

（11）MPI/Fiber（纤维取向分析），在塑料注射过程中塑料纤维流动方向对产品机械强度性质方面会有重要的影响。

（12）MPI/Reactive_Molding（热固性塑料分析），可以模拟热固性树脂的流动和固化，并深入理解这些复杂的处理过程。

（13）MPI/MuCell（微孔发泡成型分析），使用一种由熔融聚合物中混合二氧化碳（CO₂）或氮气（N₂）所形成的超临界流体（SCF）注射进模具中以制造多孔泡沫制品。

（14）MPI/Co-Injection（连续注射分析），模拟连续注入两种材料的性能。

从模块划分上可以划分为前处理模块、分析计算模块和后处理模块。前处理包括塑件几何形状的建立及有限元网格的自动剖分、注塑材料特性参数及注塑工艺条件的交互输入，为注塑过程的计算机模拟创造必要的条件。分析计算模块包括根据输入的材料数据、工艺条件等模拟塑料从注入型腔开始至充满型腔的填充过程，模拟时间的长短与模型的复杂程度和单元数目及计算机的配置有关。后处理模块是指注塑过程模拟结果的图形化，通常以等值线和等色图的形式来表示。流动分析结果包括提供熔体在型腔中流动过程的动态模拟，给出任一时刻压力、温度、剪切速率和剪切应力分布，预测熔接线和气穴位置等。



聚合物的结构特点与常见塑料的性能

2.1 聚合物的结构特点

塑料是以高分子聚合物（树脂）为主要成分的物质，高分子聚合物也称高聚物。高聚物结构分为高分子链结构和高分子凝聚态结构两个大方面。聚合物分子的链结构不同，其性质也不同，线型聚合物（图 2-1（a））包括带有支链的线型聚合物（图 2-1（b）），其物理特性是具有弹性和塑性，在适当的溶剂中可溶胀或溶解，随着温度的不断升高，聚合物微观表现为分子链逐渐由链段运动乃至整个分子链的运动，宏观表现为聚合物逐渐开始软化乃至熔化状态而流动。这些特性随温度的降低而呈现逆向性。体型聚合物的大分子链之间形成立体网状结构（图 2-1（c）），具有脆性，弹性较高塑性较低，成型前是可溶解和可熔融的，一旦成型固化后，就成为既不溶解也不熔融的固体。

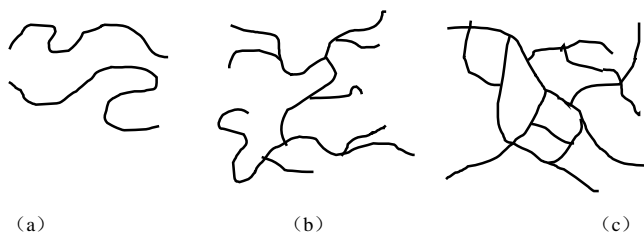


图 2-1 聚合物分子的链结构示意图

固体聚合物可划分为晶态聚合物和非晶态聚合物，取一块线型非晶态（无定形）聚合物样品，对它施加一个恒定应力，可发现样品的形变和温度的关系如图 2-2 所示，这种描述高聚物在恒定应力作用下形变随温度改变而变化的关系曲线称为热力学曲线。而晶态高聚物的热力学曲线如图 2-3 所示。

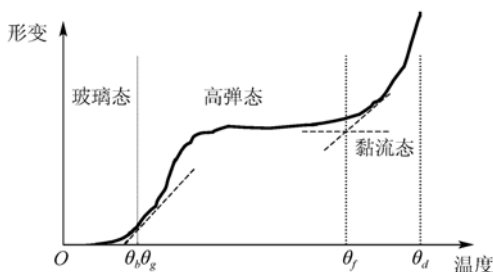


图 2-2 非晶态高聚物温度和形变曲线

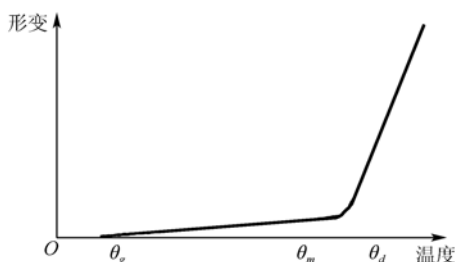


图 2-3 晶态高聚物热力学曲线



把非晶态高聚物按温度区域不同划分为三种力学状态：玻璃态、高弹态和黏流态。玻璃态和高弹态之间的转变称之为玻璃化转变，对应的转变温度即玻璃化温度，用 θ_g 表示。高弹态与黏流态之间的转变温度成为黏流温度，用 θ_f 表示。使用温度是有要求的，不能太低，否则会发生断裂，使塑料失去使用价值，通常有一个温度极限 θ_b ，这个温度被称作脆化温度，是塑料使用的下限温度。当温度继续上升，超过某一温度极限 θ_d 时，聚合物就不能保证其尺寸的稳定性和使用性能，通常将 θ_d 称为热分解温度。高聚物在 $\theta_f \sim \theta_d$ 之间是黏流态，塑料的成型加工就是在此范围内进行的。由此可见，塑料的使用温度范围为 $\theta_b \sim \theta_g$ ，而塑料的成型加工范围为 $\theta_f \sim \theta_d$ 。

绝大多数的聚合物熔体都表现为非牛顿液体。这些聚合物熔体都近似地服从 Qstwald-De Waele 提出的指数流动规律，其表达式为

$$\tau = K \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^n = K \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^n = K \gamma^n \quad (2.1)$$

式中 τ ——剪切应力；

K ——与聚合物和温度有关的常数，可以反映聚合物熔体的黏稠性，称为黏度系数；

γ ——剪切速率；

n ——与聚合物和温度有关的常数，可以反映聚合物熔体偏离牛顿流体性质的程度，称为非牛顿指数。

式 (2.1) 也可改写为：

$$\tau = K \gamma^{n-1} \gamma = \eta_a \gamma \quad (2.2)$$

$$\eta_a = K \gamma^{n-1} \quad (2.3)$$

式中 η_a ——非牛顿液体的表观黏度。

就表观黏度的力学性质而言，它与牛顿黏度相同。但是，表观黏度表征的是服从指数流动规律的非牛顿流体在外力的作用下抵抗剪切变形的能力。由于非牛顿流体的流动规律比较复杂，表观黏度与流体本身以及温度有关以外，还受到剪切速率的影响，这就意味着外力的大小及其作用时间也能够改变流体的黏稠性。对于假塑性流体而言，当流体处于中等剪切速率区域时，流体变形和流动所需的切应力随剪切速率而变化，并呈指数规律增大；流体的表观黏度也随剪切速率而变化，呈指数规律减小。这种现象被称作假塑性液体的“剪切稀化效应”。假塑性液体的剪切速率与剪切应力及表观黏度的关系如图 2-4 所示。图 2-4 (a) 为剪切应力 τ 与剪切速率 γ 的关系；图 2-4 (b) 为表观黏度 η_a 与剪切速率 γ 的关系。由图 2-4 可以看出，聚合物熔体黏度对剪切速率具有依赖性，且剪切速率的增大可导致熔体黏度的降低。

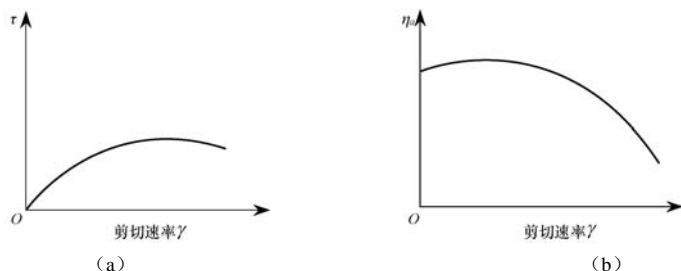


图 2-4 假塑性液体的 $\gamma-\tau$ 、 $\gamma-\eta_a$ 关系曲线



2.2 常用塑料简介

1. 丙烯腈—丁二烯—苯乙烯共聚物 (ABS)

ABS 是 PS 的改性产品, 一种新型的工程塑料, ABS 是由丙烯腈 (A)、丁二烯 (B)、苯乙烯 (S) 组成的三元共聚物, 来源广泛, 性能优异, 20 世纪 60 年代以来发展迅速, 是目前产量大、应用广的一种工程塑料。

丙烯腈使 ABS 具有高强度、热稳定性及化学稳定性, 约占 20%~30%; 丁二烯使 ABS 具有坚韧性、抗冲击特性, 约占 25%~30%; 苯乙烯使 ABS 具有易加工、高光洁度及高强度, 约占 40%~50%。ABS 是一种具有韧性、质硬性和刚性的工程塑料, 具有超强的易加工性、外观特性、低蠕变性和优异的尺寸稳定性以及很高的抗冲击强度。ABS 的特性主要取决于三种单体的比率, 通过控制三种成分的比例可以改变 ABS 的性能。ABS 具有良好的电镀性能, 其收缩率小, 尺寸稳定。

ABS 具有良好的成型性和综合力学性能, 因此, 用途广泛, 在机械工业上用来制造水箱外壳、蓄电池槽、冷藏库、冰箱衬里、管道、电机外壳、仪表壳、齿轮、泵叶轮、轴承和把手等。ABS 在汽车工业上的用途也日趋增大, 用 ABS 可制造汽车挡泥板、扶手、热空气调节导管、加热器等, 还有用 ABS 夹层板制轿车车身等。此外, ABS 还可用来制作水表壳、纺织器材、家用电器外壳、文教体育用品、玩具、电子琴及收录机壳体、食品包装容器、农药喷雾器及家具等。

2. 聚苯乙烯 (PS)

PS 是苯乙烯单体聚合而成的, 1920 年开始工业化生产, 性能优良, 来源丰富, 价格低廉, 应用广泛。PS 为无色透明珠状或粒状, 无臭、无味、无毒、易于着色, 密度为 1.05 g/cm^3 。易燃烧, 并有苯乙烯臭味放出。火焰呈黄色、冒黑烟。大多数商业用的 PS 都是透明的, 透光率 88%~92%, 仅次于有机玻璃。PS 具有非常好的几何稳定性、热稳定性、电绝缘特性以及很微小的吸湿倾向。PS 的缺点是力学性能不高, 质硬而且脆, 冲击强度和耐热性差, 易燃。

为改进其性能, 对其进行改性, 产生了苯乙烯系列树脂, 常用的有五大品种。

- (1) 通用级聚苯乙烯 (GPPS), 俗称硬胶。
- (2) 高冲击聚苯乙烯 (HIPS), 俗称不碎胶。
- (3) 发泡级聚苯乙烯 (EPS), 俗称发泡胶。
- (4) AS (SAN 料), 俗称透明不碎胶。
- (5) ABS, 俗称高度 (超) 不碎胶。

由于聚苯乙烯的刚性大、透明度好、电性能优良, 而且成本低、易成型, 近几十年来, 发展了改性聚苯乙烯和以苯乙烯为基体的共聚物, 使它的用途更加广泛。聚苯乙烯在工业上可作仪表外壳、灯罩、化学仪器零件、透明模型等。在电气方面用做良好的绝缘材料、接线盒、电池盒等电器零件。在日用品方面广泛用于包装材料、各种容器、玩具等。

3. 聚丙烯 (PP)

聚丙烯 (PP) 是丙烯单体经聚合而成的, 1957 年, 实现工业化生产, 原料来源丰富, 性能优良, 价格便宜, 发展速度居几大通用塑料之首。聚丙烯为白色、无味、无毒及可燃的白色蜡状透明塑料, 不吸水、光泽好、易着色, 密度为 $0.90 \sim 0.91 \text{ g/cm}^3$, 是通用塑料中最轻的一种。聚丙烯耐热性好, 能在 100°C 以上的温度下进行消毒灭菌, 熔点为 $164^\circ\text{C} \sim 170^\circ\text{C}$, 聚



丙烯最高使用温度可达 150℃，最低使用温度为-15℃，当温度低于 35℃时会脆裂。在氧、热、光的作用下极易降解、老化，所以必须加入防老化剂。定向拉伸后 PP 可制作铰链，抗弯曲疲劳强度特别高，经过 7×10^7 次的弯折而不断裂，俗称百折软胶。成型加工时成型收缩率较大，易导致成型加工出来的制件出现变形、缩孔等缺陷。

常用聚丙烯来制作各种机械零件，如法兰、接头、泵叶轮、汽车零件和自行车零件等，也可用做水、蒸汽、各种酸碱等的输送管道、盖和箱壳及各种绝缘零件。此外，还可用于医药等行业中。PP 材料在普通增韧的基础上，采用交联改性，使塑料和增韧剂混合物产生网状结构后，使冲击强度得到大幅度提高，能达到汽车前罩板所要求的超高冲击强度。

4. 聚酰胺 (PA)

聚酰胺由二元胺和二元酸通过缩聚反应制取或由氨基酸自聚而成的，又称尼龙 (Nylon)，1940 年实现工业化生产，首先用于合成纤维，在我国的商品名为锦纶，而后用做塑料，是工程塑料中发展最早的品种，改性产品已有几十种系列。聚酰胺主要品种有尼龙 6、尼龙 66。尼龙 1010 是我国特有的主要产品，于 1958 年研制，1961 年工业化生产。

成型加工时，尼龙具有较低的熔融黏度和良好的流动性，生产的制件容易产生飞边。因其吸水性强，成型加工前必须进行干燥处理。熔融状态的尼龙热稳定性较差，因此，在高温料筒内停留时间不宜过长。尼龙具有优良的力学性能，耐磨性高于做轴承的钢、铜合金及普通钢，机械强度优异，可替代金属材料，广泛用于制造齿轮、涡轮、密封垫片、轴承等。

5. 聚碳酸酯 (PC)

聚碳酸酯指分子主链上含有碳酸酯基团的热塑性树脂总称。PC 是一种非晶体工程材料，1958 年工业化生产，具有良好的韧性和刚性，抗冲击性极好，俗称防弹塑胶。但耐疲劳强度差，耐磨性差，塑件内应力较大，易开裂，对缺口敏感；流动性较差，因此，这种材料的注塑过程较困难。

在加工成型时，聚碳酸酯吸水率小，但当温度达到一定高度时，对水分比较敏感，因此加工前物料必须干燥处理，否则会出现银丝、气泡及强度下降现象。聚碳酸酯熔融温度高，熔融黏度大，流动性差，所以，成型时要求有较高的温度和压力，而且温度对其熔融黏度影响较大，所以，可用提高温度的办法来增加熔融塑料的流动性。

聚碳酸酯是一种性能优良的工程塑料，用途也很广泛。在机械上主要用做各种节流阀、润滑油输油管、芯轴、轴承、齿轮、蜗轮、蜗杆、齿条、凸轮、滑轮、泵叶轮、铰链、螺母、垫圈、容器、冷冻箱、冷却装置零件、灯罩及各种外壳和盖板等。在电器方面，可用做电机零件、电话交换器零件、信号继电器、风扇部件、拨号盘、仪表壳、接线板等。还可用于制作照明灯、高温透镜、视孔镜、防护玻璃等光学零件。

6. 聚甲醛 (POM)

聚四醛以三聚甲醛为原料聚合而成的热塑性工程塑料，1959 年工业化生产，俗称赛钢。聚甲醛外观呈淡黄或白色，既硬又滑，薄壁部分半透明。抗拉及抗压性能较好，耐疲劳强度突出。常温下一般不溶于有机溶剂，能耐醛、酯、醚、烃及弱酸、弱碱，但不耐强酸，耐汽油及润滑油性能也很好，有较好的电气绝缘性能。聚甲醛吸水率小，尺寸稳定，具有优良的减摩、耐磨性能。能耐扭变，有突出的回弹能力。聚甲醛熔点为 153℃~160℃。其缺点是成型收缩率大，在成型温度下的热稳定性较差，加工温度范围窄，所以，要严格控制成型温度，以免温度过高或在允许温度下长时间受热而引起分解。

聚甲醛特别适合于用做轴承、凸轮、滚轮、辊子、齿轮等耐磨、传动零件，还可用于制



造汽车仪表板、汽化器、各种仪器外壳、罩盖、箱体、化工容器、泵叶轮、鼓风机叶片、配电盘、线圈座、各种输油管、塑料弹簧等。

7. 聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)

聚甲基丙烯酸甲酯是聚丙烯酸酯类塑料中最重要的一类，俗称有机玻璃，是一种无定形聚合物，故成型收缩率不大，仅为 0.8%。它的密度为 $1.19 \sim 1.22 \text{ g/cm}^3$ ，具有很高的透明性，透光率为 90%~92%。有较强的耐化学腐蚀性，力学性能中等，电性能和耐候性能优良，但耐磨性能差。聚甲基丙烯酸甲酯的玻璃化温度为 105°C ，熔融温度为 $160^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ ，热变形温度为 115°C 左右，具体与压力有关系。最高使用温度为 $65^\circ\text{C} \sim 95^\circ\text{C}$ 。聚甲基丙烯酸甲酯很容易燃烧，火焰呈浅蓝色，顶端白色，同时发出强烈的臭味。

聚甲基丙烯酸甲酯可用来制造具有一定透明度的防振、防爆和观察窗等方面的零件，如油杯、光学镜片、车灯灯罩、油标及各种仪器零件，以及透明模型、透明管道、汽车和飞机的窗玻璃、飞机罩盖等，也可用做广告名牌、绝缘材料等。

8. 聚氯乙烯 (PVC)

聚氯乙烯是世界上产量仅次于聚乙烯的塑料。聚氯乙烯树脂为白色或浅黄色粉末，由于其分子结构中含有氯原子，因此，聚氯乙烯通常不易燃烧，离火即灭，火焰呈黄色，燃烧时塑料可变软，同时发出刺激性气味，滴下胶质，且胶质可拉丝。常用的聚氯乙烯有硬质聚氯乙烯和软质聚氯乙烯之分，含 15% 以下增塑剂的聚氯乙烯称为硬质聚氯乙烯，含 15% 以上增塑剂的聚氯乙烯称为软质聚氯乙烯。聚氯乙烯的热稳定性较差，在一定温度下会有少量的氯化氢 (HCl) 气体放出，会促使其进一步分解变色，因此，需加入碱性稳定剂防止其裂解，它的使用温度范围也较窄，一般为 $-15^\circ\text{C} \sim 55^\circ\text{C}$ 。但是 PVC 的化学稳定性比较高，电器绝缘性能优良。在成型加工时聚氯乙烯在成型温度下容易分解放出氯化氢，所以，必须加入稳定剂，并严格控制温度及熔料的滞留时间。

聚氯乙烯因其化学稳定性高，可用于防腐管道、管件、输油管、离心泵、鼓风机等。聚氯乙烯的硬板广泛用于化学工业上制作各种贮槽的衬里、建筑物的瓦楞板、门窗结构、墙壁装饰物等建筑用材。由于电气绝缘性能优良而在电气、电子工业中，用于制造插座、插头、开关、电缆绝缘层等。在日常生活中，用于制造凉鞋、雨衣、玩具、人造革等。

9. 聚乙烯 (PE)

聚乙烯是由乙烯聚合而成的，属于烯烃类聚合物，是塑料工业中产量最大的塑料。聚乙烯无毒、无味、呈乳白色，密度为 $0.91 \sim 0.96 \text{ g/cm}^3$ ，聚乙烯有优良的绝缘性、耐化学腐蚀性及耐低温性能，还有很高的耐水性，长期与水接触其性能可保持不变。这种塑料很容易加工成各种形状（管、桶、袋、盆等）的塑料制品。聚乙烯已被广泛应用于电器工业、化学工业、食品工业、机械制造工业、农业等各个方面。

聚乙烯的聚合方法按压力来分为低压法、中压法、高压法，所得到的聚合物相应的称为低压聚乙烯、中压聚乙烯和高压聚乙烯。高压法制备的聚乙烯，其聚合物本体中的分子结构支链较多，密度和结晶度较低，质地柔软、透明性好，可以用于制薄膜和日用品，这种聚乙烯也称为低密度聚乙烯 (LD-PE)。而低压法和中压法制备的聚乙烯由于密度和结晶度较高，所以刚性大，机械强度高，但透明性较差，适于制备各种工业配件，这种聚乙烯又称为高密度聚乙烯 (HD-PE)。但和其他塑料相比，聚乙烯机械强度低，表面硬度差。聚乙烯的绝缘性能优异，聚乙烯成型时，在流动方向和垂直方向上收缩性差异较大，易产生变形、缩孔。此外，聚乙烯质地柔软且易脱模，制品有浅的侧凹时可强行脱模。



2.3 注塑制品注射过程中主要的缺陷

注塑成型中产品出现缺陷原因有多种，材料、模具、工艺参数和成型设备等都对产品的质量有着直接或间接的影响。导致出现产品缺陷的因素有以下几方面。

- (1) 产品结构设计存在问题。
- (2) 模具设计不合理。
- (3) 成型工艺参数选择不当。
- (4) 材料（塑料）性质造成的产品缺陷。
- (5) 成型设备（注塑机）选择不当。

注射模塑缺陷和反常现象最终集中在注塑制品的质量上反映出来。注塑制品主要缺陷可分成下列几种。

- (1) 欠注。
- (2) 溢料。
- (3) 收缩凹陷（凹陷及缩痕）。
- (4) 气穴。
- (5) 翘曲变形。
- (6) 波流痕。
- (7) 银纹。
- (8) 熔接痕（夹水纹）、喷射纹（蛇纹）。
- (9) 变色焦化（注塑件表面色差、光泽不良、混色、黑条、黑点）。
- (10) 产品黏模、拖花（拉伤）、拖白。
- (11) 透明度不足、强度不足（脆断）。
- (12) 注塑件尺寸偏差。

2.3.1 欠注

欠注（Short Shot）又称为填充不足或短射，是指聚合物不能完全充填模具型腔的各个角落的现象，如图 2-5 所示。

产生欠注现象的原因及相关解决方案如下。

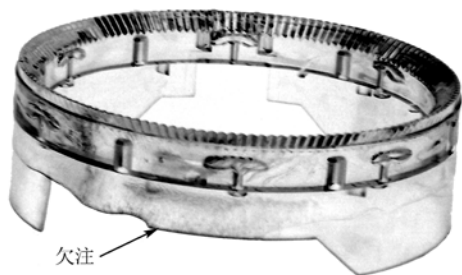


图 2-5 欠注现象

- (1) 设备原因
 - ①料斗中断料。
 - ②料斗缩颈部分或全部堵塞。
 - ③加料量不够。
 - ④加料控制系统操作不正常。
 - ⑤注塑机塑化容量太小。
 - ⑥设备造成的注射周期反常。
- (2) 浇注系统设计不合理
 - ①流道太小。

- ②浇口太小。
- ③喷嘴孔太小。



④浇口位置不合理。

⑤浇口数不足。

⑥冷料穴太小。

考虑改进模具的浇注系统,合理设置浇道位置、扩大浇口、流道和浇口尺寸以及采用较大的喷嘴等,从而改善模具浇注系统的滞流缺陷。

(3) 聚合物流动性能较差

应该在原料中增加适量的助剂,改善树脂的流动性能,同时检查原料中的再生料的比例,适当减少用量。

(4) 料温、模温、喷嘴温度太低

较低的料温会使熔体的流动性能下降,使得充模长度缩短。当确认料温较低时,应检查料筒加热器是否完好并设法提高料筒温度。如果为了防止熔料分解,不得不采取低温注射时,可适当提高料筒前部区段的温度,或者加快注塑的速度,减少聚合物冷却的时间。

较低的模温会导致熔融聚合物过早地冷却,从而无法充填整个型腔。应该将模具加热到满足工艺要求的温度,并且在注塑初期,应减少冷却介质的流量。

在注射过程中,模具温度一般低于喷嘴温度,且温差较大,两者频繁接触后会使喷嘴温度下降,导致熔料在喷嘴处冷凝。为防止此现象产生,在流道上开冷料穴,在开模时保证喷嘴与模具分开,减少模温对喷嘴温度的影响。

(5) 注塑压力不足、保压不足

注塑压力不足会造成充模长度短,出现欠注现象,可通过减慢螺杆前进速度,适当延长注射时间等办法,来提高注射压力。保压时间太短,也会出现欠注现象,因此,选择适当的保压时间可以防止欠注现象的发生。

(6) 制品结构设计不合理

当制品在整体尺寸方面比例失调,或者是制品形状复杂且成型面积较大时,熔体容易出现在塑件的薄壁处流动受阻,出现填充不足的现象。在设计塑件的形体结构时,应考虑塑件厚度与熔体充模时的极限流动长度之间的关系。

(7) 排气不良

排气不良会造成大量气体残留在模具型腔内,受到料流的挤压,产生较大的压力,当压力大于注射压力时,就会阻碍熔体的充模,导致欠注现象的发生。

2.3.2 收缩凹陷

注塑成型过程中,制品收缩凹陷是比较常见的现象。造成这种情况的主要原因有以下几点。

1. 设备方面

- (1) 射嘴孔太大造成熔料回流而出现收缩,射嘴孔太小时,阻力大,料量不足,出现收缩。
- (2) 锁模力不足造成飞边也会出现收缩,应检查锁模系统是否有问题。
- (3) 塑化量不足。应选用塑化量大的机台,检查螺杆与料筒是否磨损。

2. 模具方面

- (1) 制品设计要使壁厚均匀,保证收缩一致。
- (2) 模具的冷却、加温系统要保证各部分的温度一致。
- (3) 浇注系统要保证通畅,阻力不能过大,如主流道、分流道、浇口的尺寸要适当,光洁度要足够,过渡区要圆弧过渡。



- (4) 对薄件应提高温度, 保证料流畅顺, 对厚壁制品应降低模温。
- (5) 浇口要对称开设, 尽量开设在制件厚壁部位, 应增加冷料井容积。

3. 塑料方面

结晶性的塑料比非结晶性塑料收缩率大, 加工时要适当增加料量, 或在塑料中加换剂, 以加快结晶, 减小收缩凹陷。

4. 加工方面

- (1) 料筒温度过高, 容积变化大, 特别是前炉温度, 对流动性差的塑料应适当提高温度、保证畅顺。
- (2) 注射压力、速度、背压过低、注射时间过短, 使料量或密度不足而收缩压力、速度、背压过大、时间过长造成飞边而出现收缩。
- (3) 加料量即缓冲垫过大时消耗注射压力, 过小时, 料量不足。
- (4) 对于不要求精度的制件, 在注射保压完毕, 外层基本冷凝硬化而夹心部分尚柔软又能顶出的制品, 应及早出模, 让其在空气或热水中缓慢冷却, 可以使收缩凹陷平缓而不那么显眼又不影响使用。

2.3.3 翘曲变形

注塑制品变形、弯曲、扭曲现象的发生主要是由于塑料成型时流动方向的收缩率比垂直方向的大, 使制品各向收缩率不同而翘曲, 又由于注射充模时不可避免地制品内部残留有较大的内应力而引起翘曲, 这些都是高应力取向造成的变形的表现。所以从根本上说, 模具设计决定了制品的翘曲倾向, 要通过变更成型条件来抑制这种倾向是十分困难的, 最终解决问题必须从模具设计和改良着手。翘曲变形现象主要由以下几个方面造成。

1. 模具方面

- (1) 制品的厚度、质量要均匀。
- (2) 冷却系统的设计要使模具型腔各部分温度均匀, 浇注系统要使料流对称, 避免因流动方向、收缩率不同而造成翘曲, 适当加粗较难成型部分的分流道、主流道, 尽量消除型腔内的密度差、压力差、温度差。
- (3) 制品厚薄的过渡区及转角要足够圆滑, 要有良好的脱模性, 如增加脱模余度, 改善模面的抛光。顶出系统要保持平衡。
- (4) 排气要良好。
- (5) 增加制品壁厚或增加抗翘曲方向, 由加强筋来增强制品抗翘曲能力。
- (6) 模具所用的材料强度要足够。

2. 塑料方面

结晶型塑料比非结晶型塑料出现的翘曲变形机会多, 加之结晶型塑料可利用结晶度随冷却速度增大而降低, 收缩率变小的结晶过程来矫正翘曲变形。

3. 加工方面

- (1) 注射压力太高, 保压时间太长, 熔料温度太低速度太快会造成内应力增加而出现翘曲变形。
- (2) 模具温度过高, 冷却时间过短, 使脱模时的制件过热而出现顶出变形。
- (3) 在保持最低限度充料量下减少螺杆转速和背压降低密度来限制内应力的产生。
- (4) 必要时可对容易翘曲变形的制品进行模具软性定型或脱模后进行退火处理。



2.3.4 变色焦化

造成注塑制品变色焦化出现黑点的主要原因是塑料或添加的紫外线吸收剂、防静电剂等料筒内过热分解，或在料筒内停留时间过长而分解、焦化，再随同熔料注入型腔形成的。

1. 机台方面

(1) 由于加热控制系统失控，导致料筒过热造成分解变黑。

(2) 由于螺杆或料筒的缺陷使熔料卡入而囤积，经受长时间固定加热造成分解。应检查过胶头套件是否磨损或里面是否有金属异物。

(3) 某些塑料如 ABS 在料筒内受到高热而焦化，在几乎维持原来颗粒形状情形下，难以熔融，被螺杆压碎后夹带进入制件。

2. 模具方面

(1) 模具排气不顺，易烧焦，或浇注系统的尺寸过小，剪切过于厉害造成焦化。

(2) 模内有不适当的油类润滑剂、脱模剂。

3. 塑料方面

塑料挥发物过多、湿度过大、杂质过多、再生料过多、受污染等都会导致变色焦化。

4. 加工方面

(1) 压力过大、速度过高、背压过大、转速过快都会使料温分解。

(2) 应定期清洁料筒，清除比塑料耐性还差的添加剂。

2.3.5 波流痕

波流痕 (Flow Mark) 是指熔体流的痕迹以浇口为中心呈现出条纹花样，如图 2-6 所示。根据其产生的原因和不同的外观特点，可以将波流痕分为三类。

(1) 以浇口为中心的年轮状波流痕

主要是由于熔体流动不良引起的。由于温度低、黏度高，当流动性能较差的熔料在浇口及流道中以半固化波动状态注入型腔后，熔体沿型腔表面流动并被不断注入的后续熔体挤压形成回流及滞流，从而在塑件表面产生以浇口为中心的年轮状波流痕。对此，可以通过提高模温及喷嘴温度，提高注射速率，增加注射压力及保压和增压时间，或者在浇口处设置加热器增加浇口部位的局部温度等方法来解决波流痕。

(2) 塑料制品表面的螺旋状波流痕

这种类型的波流痕主要是熔体在流道中流动不畅所导致的。当熔体从狭小的流道截面流入较大截面的型腔或者是流道狭窄、表面粗糙度过大时，熔体容易形成湍流，导致塑料制品表面形成螺旋状波流痕。对此，可以采用降低注射速度或对注射速度采取慢、快、慢分级控制。模具的浇口应设置在厚壁部位或直接在壁侧设置浇口，浇口形式最好采用护耳式、扇形或薄片式。也可以通过调节模具内冷却水的流量，保持较高的模温。

(3) 塑料制品表面的云雾状波流痕

这种类型的波流痕主要是由挥发性气体导致的。当采用 ABS 或者其他共聚型树脂原料时，若加工温度较高，树脂及润滑剂产生的挥发性气体会使塑件表面产生云雾状波流痕。对



图 2-6 波流痕现象



此, 可以采用措施有降低模具及机筒温度, 改善模具的排气条件, 降低料温及充模速率, 适当扩大浇口截面。

2.3.6 银纹

聚苯乙烯、有机玻璃的透明制品, 有时候透过光线可以看到一些闪闪发光的细丝般的银纹, 这些银纹又称烁斑或裂纹。这是由于拉应力在垂直方向产生了应力, 使聚合物分子在流动方向取向, 使得取向部分与未取向部分折射率不同, 光线透过两者界面时发生折射产生银纹。解决方法如下:

- (1) 消除气体及其他杂质的干扰, 对塑料充分干燥。
- (2) 降低料温, 分段调节料筒温度, 适当提高模温。
- (3) 增加注射压力, 降低注射速度。
- (4) 增加或减少预塑背压压力, 减少螺杆转速。
- (5) 改善流道及型腔排气状况。
- (6) 清理射嘴、流道和浇口可能的堵塞。

(7) 缩短成型周期, 脱模后可用退火方法消除银纹: 对聚苯乙烯在 78°C 时保持 15min, 或 50°C 时保持 1h; 对聚碳酸酯, 加热到 160°C 以上保持数分钟。

2.3.7 熔接痕

熔接痕 (Weld Line) 是产品外观质量缺陷, 是产品注塑过程中两股以上的熔融树脂流相汇合所产生的细线状缺陷。其产生原因及相关解决方法如下。

(1) 熔体流动性不足, 料温较低。在低温的情况下, 聚合物熔体的流动、汇合性能降低, 容易发生熔接痕现象。对此, 可以适当提高料筒和注塑喷嘴的温度, 同时降低冷却介质的流速、流量, 保证一定的模温。对于必须采用低温成型的情况, 可以适当提高注塑压力和速度。

(2) 模具缺陷。模具的浇注系统对于熔接痕的产生有很大的影响。对此, 在模具设计的过程中, 应该尽量减少浇口的数量, 合理设置浇口位置, 加大浇口截面积, 设置辅助流道及分流道。

(3) 塑料制品结构设计不合理。塑件薄壁、厚壁悬殊或是嵌件过多都有可能产生熔接痕。在熔体冲模过程中, 由于薄壁位置充模阻力大, 因此, 熔体分流总在薄壁处汇合, 并产生熔接痕。

(4) 模具排气不良。熔接痕的位置与合模线或嵌件缝隙相距较远, 并且排气孔位置设置不当, 多股熔体流汇聚赶压的空气无法排出, 气体在高压下释放大量热能, 导致熔体分解, 从而出现黄色或黑色的炭化点。塑件表面熔接痕附近总是会出现这类斑点。

(5) 脱模剂使用不当。

2.3.8 产品黏模

产品黏模主要由于模塑不善、顶出不足, 注料不足以及不正确的模具设计。如果制品粘贴在模内, 注塑过程不可能正常。

(1) 模具问题。如果塑料粘帖模内是由于注料不足造成, 不要采用顶出机构可采用以下措施: 去除倒切口 (陷槽); 去除凿纹、刻痕以及其他的伤痕; 改善模具表面的光滑性; 抛光模具表面动作方向应与注射方向一致; 增加斜度; 增加有效顶出面积; 改变顶出位置; 校



核顶出机构的操作；在深抽芯模塑中，增强真空破坏及气压抽芯；模塑过程中检查模腔是否变形、模架是否变形；检查开模时，模子有否偏移；减小浇口尺寸；增设辅助浇口。

(2) 注塑问题。可以采用的措施有：增加脱模剂或改善脱模剂；调整物料供给量；降低注射压力；缩短注射时间；减少全压时间；降低模温；增加注射周期。

2.3.9 气穴

气穴（Air Trap）又称为气泡或气孔，气穴的造成是由于模腔内塑料不足，外圈塑料冷却固化，内部塑料产生收缩形成真空而产生的。气穴形成的原因有两类：一是由于吸湿性物料未干燥好，以及物料中残留单体及其他化合物而造成的；二是由于在制品厚壁或加强筋、凸台等壁厚不均匀处固化冷却收缩形成的。气穴现象如图 2-7 所示。

解决办法如下。

(1) 提高注射能量，包括压力、速度、时间和料量，并提高背压，使充模丰满。

(2) 增加料温使熔体流动顺畅。因为降低料温会减少收缩，同时适当提高模温，特别是形成真空泡部位的局部模温。

(3) 将浇口设置在制品厚的部分，改善喷嘴、流道和浇口的流动状况，减少压力的消耗。

(4) 改进模具排气状况。

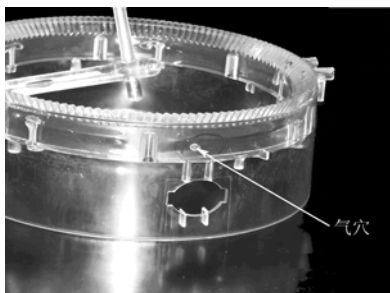


图 2-7 气穴现象

2.3.10 溢料

溢料（Flashing）又称为飞边、披锋。当熔体进入模具的分型面，或者进入与滑块相接触的面及模具其他零件的空隙内时，就会发生溢料。溢料现象如图 2-8 所示。产生溢料现象的原因及相关解决方案如下。

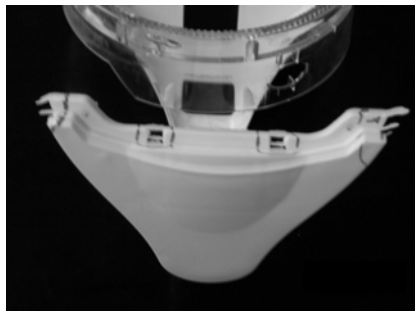


图 2-8 溢料现象

(1) 产品溢料往往是由于模具的缺陷造成的，如型腔和型芯未闭紧、型腔和型芯偏移；模板不平行、模板变形；模具平面落入异物；排气不足。

(2) 锁模力较低。锁模力低于或接近注射压力，会造成模具分型面的密闭不良，从而产生溢料现象。应该降低注射压力，或减小浇口截面积，或缩短保压时间，减少型腔数或选用锁模力更大的注塑设备。

(3) 注塑工艺不当。注塑工艺控制不当也会造成溢料出现，例如，注射全压力时间太长；注射速率太快；充模速率不等；模腔内料流中断；加料量控制太大。

(4) 温度问题。例如，料筒温度太高；喷嘴温度太高；模温太高。这些因素都可能使熔体流入模具内的零件间隙产生溢料。

2.4 注塑条件对制品成型的影响

1. 塑料材料

塑料材料性能的复杂性决定了注射成型过程的复杂性，而塑料材料的性能又因品种不



同、牌号不同、生产厂家不同、甚至批次不同而差异较大。不同的性能参数可能导致完全不同的成型结果。其中，材料的流变参数主要是确定聚合物的黏度与熔体压力、温度、剪切速率之间的定量关系，黏度表征了塑料熔体基本的流动性能，是注塑成型模拟中一个非常重要的参量。材料流变数据准确与否是影响 CAE 分析精度的重要因素，材料流变数据库的覆盖范围直接关系到 CAE 软件的实用性。

2. 熔体（注射）温度

熔体流入冷却的型腔，因热传导而散失热量。与此同时，由于剪切作用而产生热量，这部分热量可能较热传导散失的热量多，也可能少，主要取决于注塑条件。熔体的黏性随温度升高而变低。这样，注射温度越高，熔体的黏度越低，所需要的充填压力越小。同时，注射温度也受到热降解温度、分解温度的限制。

3. 模具温度

模具温度对熔体的充模流动能力、塑件的冷却速度和成型后的塑件性能等有着直接的影响。模具温度选择取决于塑料的分子结构特点、塑件的结构及性能要求和其他成型工艺条件（熔体温度、注射速度、注射压力和模塑周期等）。

提高模具温度可以改善熔体在模具型腔内的流动性，增加塑件的密度和结晶度，减小充模压力和塑件中的应力，但塑件的冷却时间会延长，冷却速度慢，易产生黏模现象，收缩率和脱模后塑件的翘曲变形会增加，降低生产率；降低模具温度，能缩短冷却时间，提高生产率，但模具温度过低时，熔体在模具型腔内的流动性能会变差，使塑件产生较大的应力 and 明显的熔接痕等缺陷。模具温度较低对降低塑件的表面粗糙度、提高塑件的表面质量有利。

在需要降低模具温度的情况下，模具温度的控制可以采用定温的冷却介质或制冷装置来进行；在需要提高模具温度的情况下，可用加热装置对模具加热来保持模具的温度。在注射过程中，对塑料熔体来说，都是冷却的过程。为了使塑料成型和顺利脱模，模具的温度应低于塑料的玻璃化温度 θ_g 或工业上常用的热变形温度。

4. 注射时间

注射时间对注塑过程的影响表现在三个方面。

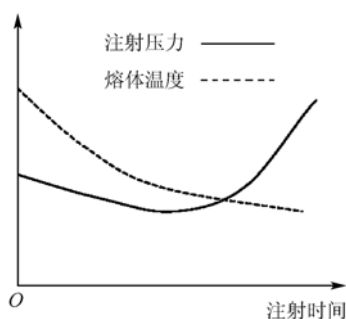


图 2-9 注射时间与注射压力、熔体温度的关系

(1) 缩短注射时间，熔体中的剪应变率也会提高，为了充满型腔所需要的注射压力也要提高。

(2) 缩短注射时间，熔体中的剪应变率提高，由于塑料熔体的剪切变稀特性，熔体的黏度降低，为了充满型腔所需要的注射压力也要降低。

(3) 缩短注射时间，熔体中的剪应变率提高，剪切发热增加，同时因热传导而散失的热量少，因此，熔体的温度高黏度越低，为了充满型腔所需要的注射压力也要降低。

以上三种情况共同作用的结果，使图 2-9 中的充满型腔所需要的注射压力的曲线呈现“U”形。也就是说，存在一个注射时间，此时所需的注射压力最小。



3.1 概述

Moldflow 作为成功的注塑产品成型仿真及分析软件，采用的基本思想也是工程领域中最常用的有限元方法。

对于连续体的受力问题，作为一个整体获得精确求解十分困难，于是，作为近似求解，可以假想地将整个求解区域离散化，分解成为一定形状有限数量的小区域（单元），彼此之间只在一定数量的指定点（节点）处相互连接，组成一个单元的集合体以替代原来的连续体。如图 3-1 所示为弯曲凹模的受力分析；只要先求得各节点的位移，即能根据相应的数值方法近似求得区域内的其他各场量的分布；这就是有限元法的基本思想。

根据原问题的控制方程（如最小势能原理）和约束条件，可以求解出各节点的待定位移，进而求得其他场量。推广到其他连续域问题，节点未知量也可以是压力、温度、速度等物理量。这就是有限元方法的数学解释。从有限元法的解释可得，有限元法的实质就是将一个无限的连续体，理想化为有限个单元的组合体，使复杂问题简化为适合于数值解法的结构型问题；且在一定的条件下，问题简化后求得的近似解能够趋近于真实解。由于对整个连续体进行离散，分解成为小的单元，因此，有限元法可适用于任意复杂的几何结构，也便于处理不同的边界条件，在满足条件下，如果单元越小、节点越多，有限元数值解的精度就越高。

直观上，物体被划分成“网格”（Mesh）状，在 Moldflow 中就将这些单元称为网格。如图 3-2 所示。

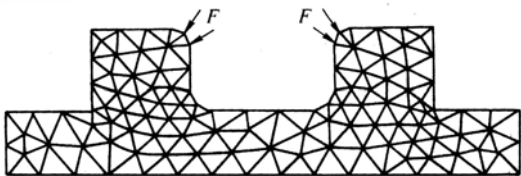


图 3-1 弯曲凹模的受力分析

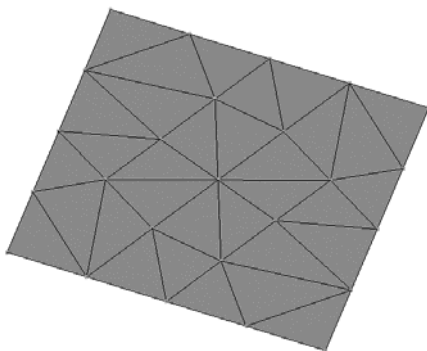


图 3-2 单元网格

正因为网格是整个数值仿真计算的基础，所以，网格的划分和处理在整个 Moldflow 分析中占有很重要的地位。



3.2 网格的类型

在 Moldflow 中，划分成网格主要有三种类型：中面网格（Midplane），表面网格（Fusion）和实体（Solid）网格（3D），如图 3-3 所示。

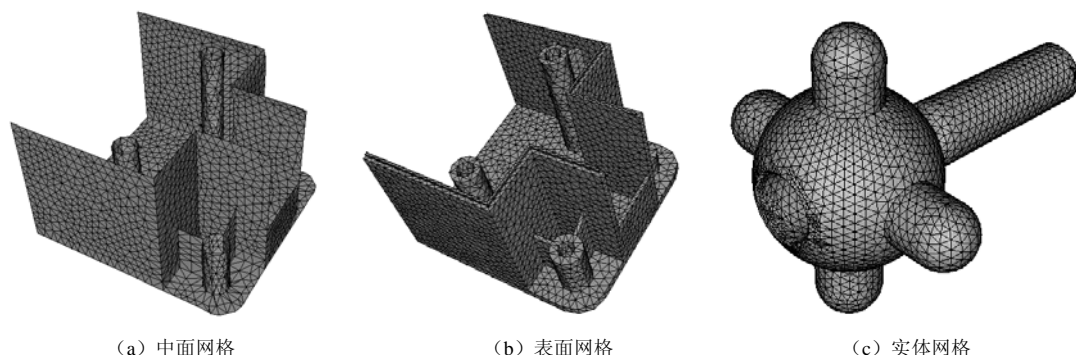


图 3-3 网格类型

中面网格是由三节点的三角形单元组成的，网格创建在模型壁厚的中间处，形成单格网格。在创建中面网格的过程中，要实时提取模型的壁厚信息，并赋予相应的三角单元。

表面网格也是由三节点的三角形单元组成的，与中面网格不同，它是创建在模型的上下两层表面上。

实体网格是由四节点和四面体单元组成的，每一个四面体单元又是由四个中面网格模型中的三角单元组成的，利用实体网格可以更为精确地进行 3D 流动仿真。

3.3 网格的划分

执行“文件→新建项目”菜单命令，在默认的创建目录中输入一个项目名称，如图 3-4 所示。在项目名称处单击鼠标右键，在已经建好的项目中导入模型文件，如图 3-5 所示，选择“导入”（Import）命令后，在对话框中打开模型文件，此时会弹出“导入”对话框，如图 3-6 所示。



图 3-4 创建新的项目



图 3-5 在项目中导入模型

接着，在图 3-6 中，选择网格划分类型，包括 Midplane、Fusion 和 3D 网格三种，同时还要选择导入模型所采用的单位，包括 Millimeter（毫米）、Centimeter（厘米）、Meter（米）



和 Inch（英寸）。选择完毕后，单击“确定”按钮，模型被导入，如图 3-7 所示，此时网格尚未划分，仅仅选择了网格的类型。

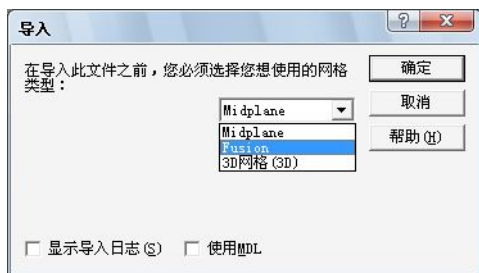


图 3-6 “导入”对话框

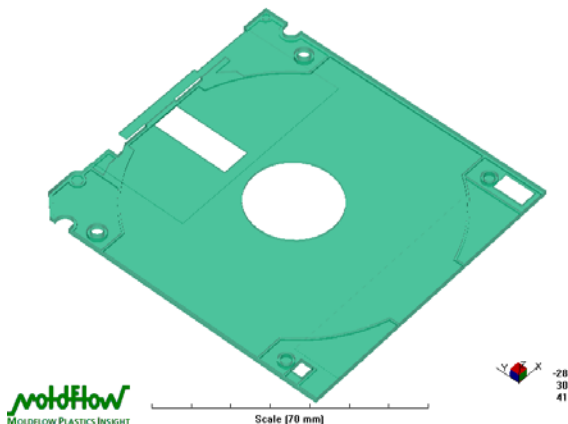


图 3-7 被导入的模型

在 Moldflow 软件中可以导入的 CAD 模型文件格式有 *.STL 文件、*.STEP 文件、*.IGES 文件，以及由 ANSYS 或 PRO/E 生成的 *.ANS 文件、由 PRO/E 或者 SDRG-IDES 生成的 *.UNV 文件等。

IGES（Initial Graphics Exchange Specification）标准意为“初始图形交换规范”，是一种按特定的文件结构安排的数据格式，用来描述产品的设计和生产信息，可用它来交换 CAD/CAM 系统中以计算机可读的形式产生和存储的数据。

STEP（Standard for the Exchange of Product Model Data）标准意为“产品数据表达和交换标准”。是 CAD/CAM 系统在进行数据交换时所用的中间文件标准。它规定了从产品设计、开发、制造以至于全部生命周期中包括产品形状、解析模型、材料、加工方法、组装分解顺序、管理数据等方面的必要信息定义和数据交换的外部描述。

STL（Stereolithography）文件格式是为快速原型制造 RPM（Rapid Prototype Manufacture）服务的文件格式，类似于有限元的网格划分，它将物体表面划分成很多小三角形，用这些空间三角形小平面来逼近原 CAD 实体。文件的数据结构简单，而且独立于 CAD 系统。与 IGES、STEP 的格式相比，STL 的格式非常简单，某种意义上讲 STL 并不是一个完整的数据交换标准，与其说是一个交换标准，不如说是一个简单的三维几何形状的描述标准。

然后，在任务窗口中双击“创建网格”（Create Mesh）图标，或者选择下拉菜单“网格”（Mesh）菜单中的“生成网格”（Generate Mesh）命令，会弹出“生成网格”对话框，如图 3-8 所示。

单击“高级”（Advanced）按钮，在“平均边长”（Global length）右侧文本框中输入合理的网格单元边长。对于导入格式为 IGES 的情况，还要输入 IGES 合并公差，其默认值一般是 0.01mm。单击“预览”（Preview）按钮可以查看网格划分的大致情

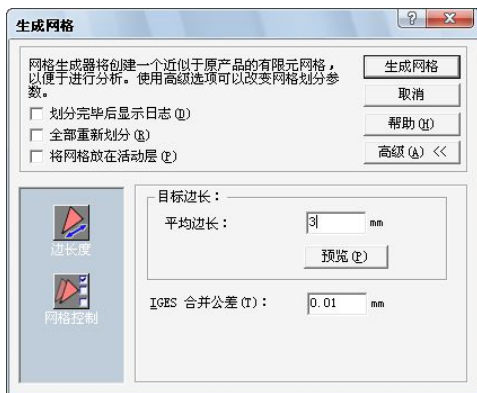




图 3-8 “生成网格”对话框



况，同时作为参考，如图 3-9 所示。

最后，单击上述对话框中的“生成网格”（Generate Mesh）按钮，生成网格，如图 3-10 所示。此时，任务窗口中的图标  创建网格... 变成  Fusion 网格，显示表明：网格类型为 Fusion，单元个数为 5664。

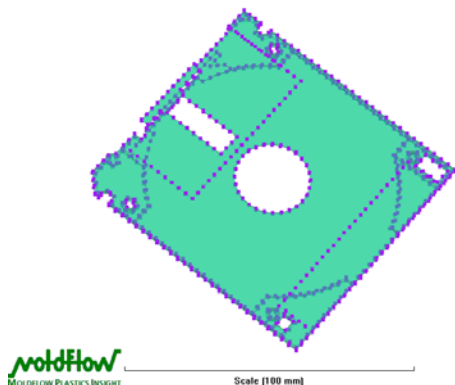


图 3-9 网络划分的大致情况

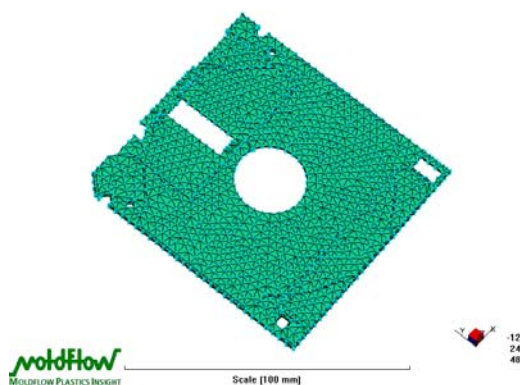


图 3-10 生成的网格

3.4 网格状态统计

在 Moldflow 中，系统自动生成的网格随着制件形状的复杂程度存在着或多或少的缺陷，网格的缺陷不仅仅对计算结果的真确性和准确性产生影响，而且在网格质量严重低下的情况，会使计算根本无法进行。因此，进行 Moldflow 分析之前需要对网格状态进行统计，再根据统计的结果对现有的网格进行修改。

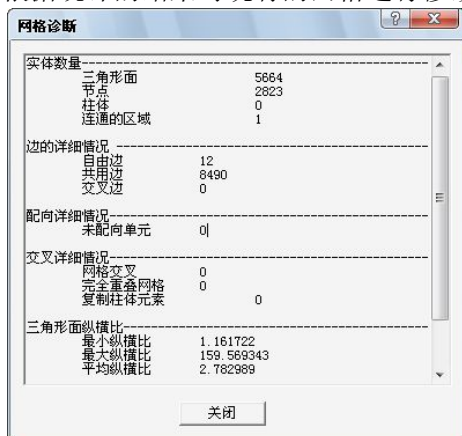


图 3-11 网格诊断

网格划分完毕后，执行“网格”（Mesh）→“网格统计”命令，网格统计的结果就会以窗口的形式弹出，如图 3-11 所示。

(1) 实体数量：统计网格划分后模型中各类实体的个数。

(2) 三角形面：表示有 5664 个三角形。

(3) 节点：表示有 2823 个节点。

(4) 柱体：一维单元个数，0 个。

(5) 连通的区域：统计模型网格划分后模型内独立的连通域，其值为 1，否则说明模型存在问题。

(6) 自由边：自由边是指一个三角形或 3D 单元的某一边没有与其他单元共用，如图 3-12 (a) 所示，

在 Fusion 和 3D 类型网格中不允许存在自由边。

(7) 共用边，也叫交叠边，是指由两个三角形或者 3D 单元所共用的一条边，如图 3-12 (b) 所示，在 Fusion 类型网格中，只存在交叠边。

(8) 非共用边是指由两个以上三角形或 3D 单元所共用的一条边，如图 3-12 (b) 所示，在 Fusion 类型网格中，不允许存在非交叠边。

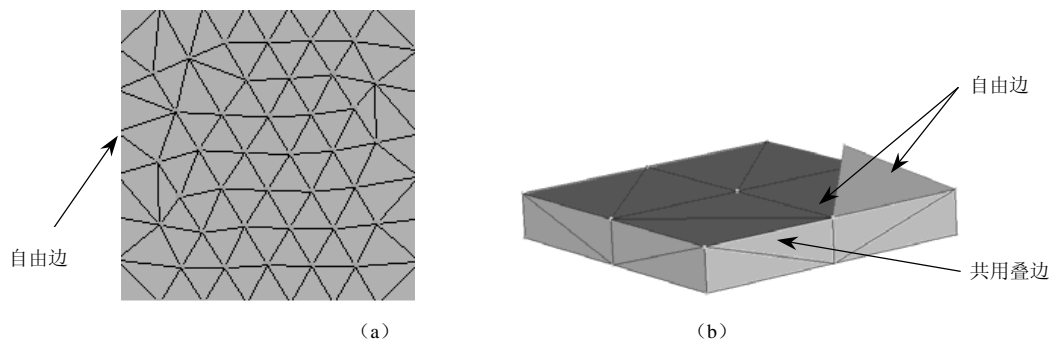


图 3-12 自由边与共用边

(9) 未配向单元：统计没有配向（定向）的单元数，该值一定要为 0。

(10) 网格交叉：互相交叉的网格（单元）数，表示不同平面上的网格互相交叉的情况，如图 3-13 所示，(b) 中网格互相交叉穿过是不允许的。

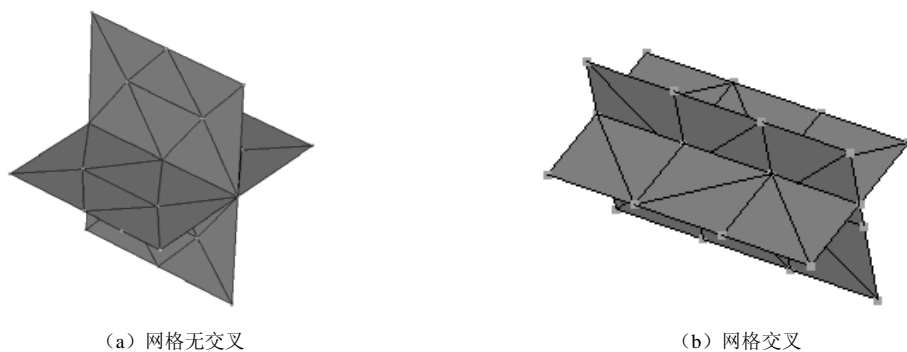


图 3-13 网格交叉

(11) 完全重叠网格：表示网格重叠的情况，如图 3-14 所示，图 (b) 为网格部分重叠，图 (c) 为网格完全重叠，这两种情况都是不允许发生的。

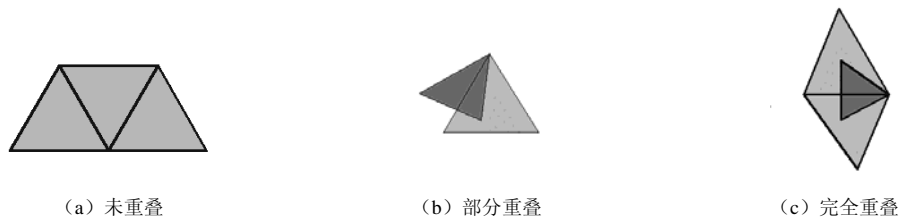


图 3-14 网格重叠情况

(12) 三角形面纵横比：是指三角形的长高两个方向的极限尺寸之比，即为图 3-15 中的 $w:h$ 。网格纵横比对分析计算结果的精确性有很大的影响。一般在 Midplane 和 Fusion 类型网格的分析中，纵横比的推荐极大值是 6，在 3D 类型网格中，推荐的纵横比极大、极小值分别是 50 和 5，平均应该在 15 左右。

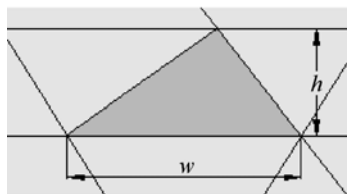


图 3-15 三角形的纵横比



(13) 最小纵横比：即纵横比的极小值。

(14) 最大纵横比：即纵横比的极大值。

(15) 平均纵横比：即纵横比的平均值。

(16) 单元匹配率信息（仅仅针对 Fusion 类型网格）：表示模型上下表面网格单元的相匹配程度。对于 Flow 分析，单元匹配率应大于 85%是可以接受的，低于 50%根本无法计算。对于 Warp 分析，单元匹配率同样要超过 85%。如果单元匹配率太低，就应该重新划分网格。

3.5 网格处理工具

有限元计算对网格有一定要求，例如，网格要光滑、形状不畸变、流动变化剧烈的区域应分布足够多的网格等。利用软件自动划分的网格，往往不易同时达到这些要求，对网格的最基本要求是所有网格的体积必须为正值。其他一些最常用的网格质量度量参数包括扭角、纵横比等。通过计算、检查这些参数，可以定性地甚至从某种程度上定量地对网格质量进行评判。

选择“网格”下拉菜单中的网格工具命令，弹出“网格工具”对话框，如图 3-16 所示。Moldflow 共提供了 18 种网格处理的工具，下面介绍其中的主要内容。

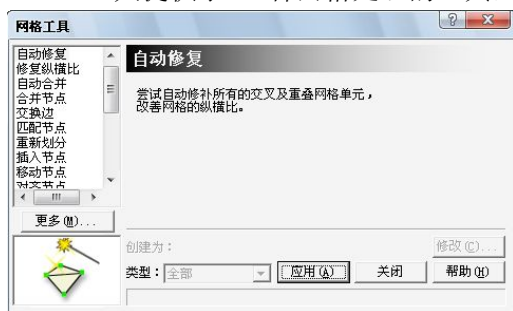


图 3-16 “网格工具”对话框

纵横比，并接近所给出的目标值，如图 3-17 所示。

(1) 自动修补 (Auto Repair)

此功能对 Fusion 模型很有效，能自动搜索并处理模型网格中存在的单元交差和单元重叠的问题，同时可以改进单元的纵横比，在使用一次该功能后，再次使用该功能，可以提高修改的效率，但是不能期待该功能解决所有网格中存在的问题，如图 3-16 所示。

(2) 修复纵横比 (Fix Aspect Ratio)

修复纵横比功能可以降低模型网格的最大



(a)



(b)

图 3-17 修复纵横比

(3) 自动合并 (Global Merge)

自动合并功能可以一次合并所有间距小于合并公差 (Merge Tolerance) 的节点，如图 3-18 所示。

(4) 合并节点 (Merge Nodes)

该功能可以将多个起始点向同一个目标节点合并。其中，首先输入合并目标节点，然后输入待合并节点。当一次选择多个起点节点时要按住[Ctrl]键依次选择。如图 3-19 和图 3-20 所示分别为合并节点功能选项和合并节点示意图。





图 3-18 自动合并功能

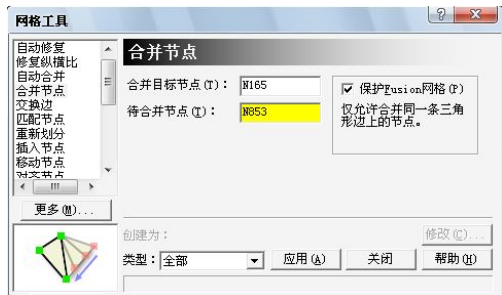
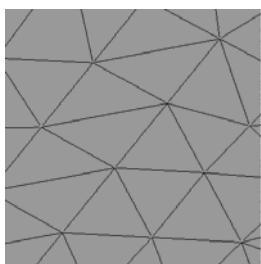
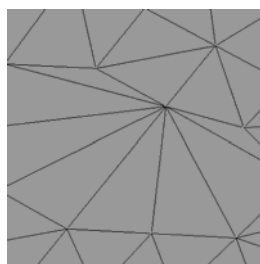


图 3-19 合并节点功能



(a) 合并前



(b) 合并后

图 3-20 合并节点示意图

(5) 交换边 (Swap Edge)

交换边功能可以交换两个相邻三角形单元的共用边，可以利用这项功能降低纵横比。在功能选项中依次选择两个三角形单元，如图 3-21 所示，交换共用边示意图如图 3-22 所示。

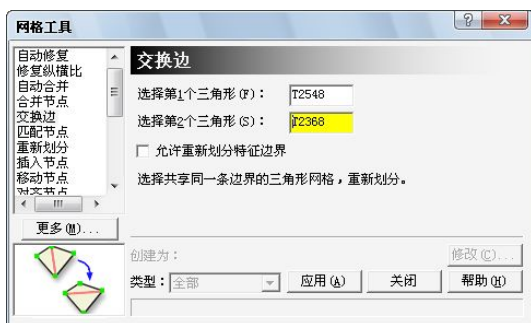
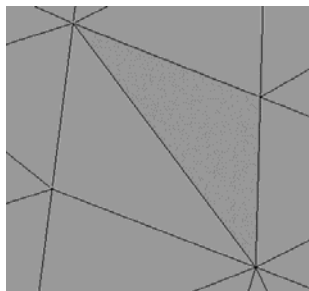
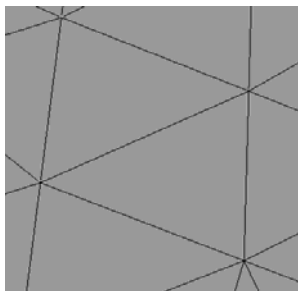


图 3-21 交换边功能



(a) 交换前



(b) 交换后

图 3-22 交换共用边示意图



(6) 匹配节点 (Match Node)

在手工修改大量网格之后, 利用匹配节点功能可以重新建立良好的网格匹配。如图 3-23 所示, “选择投影到网格的节点” 下拉列表框用于选择投影节点, “选择投影目标三角形” 下拉列表框用于选择投影三角形。

(7) 重新划分 (Remesh Area)

重新划分功能可以将已经划分好网格的模型在某一区域根据给定的目标网格大小, 重新进行网格划分。因此, 可以用来在形状复杂或者形状简单的模型区域进行网格局部加密或局部稀疏。如图 3-24 所示, 首先要选出进行网格重新划分的单元, 然后指定重新划分网格的目标边长值。图 3-25 为网格重新划分示意图。

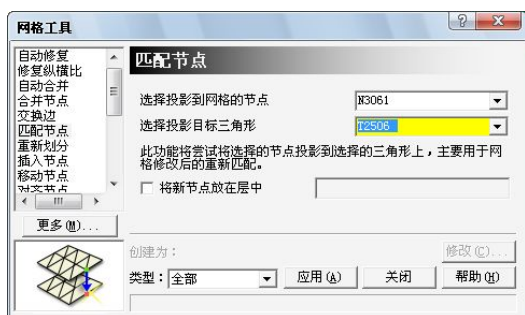


图 3-23 匹配节点功能

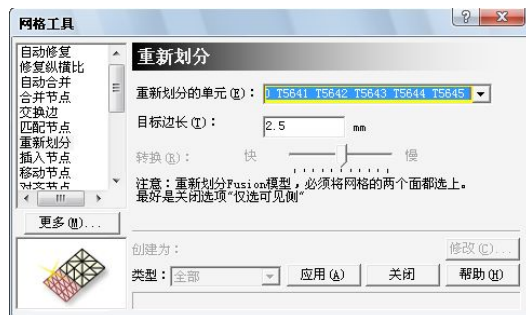
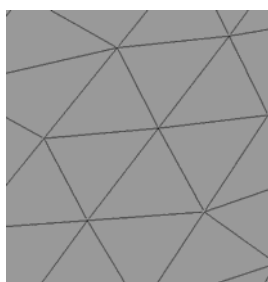
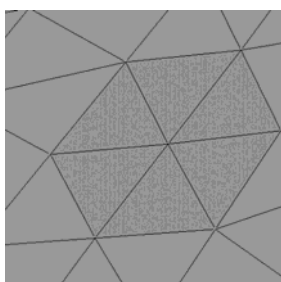


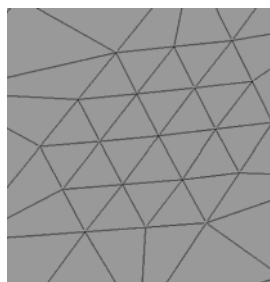
图 3-24 重新划分功能



(a) 重划网格前



(b) 选择区域



(c) 重划网格后

图 3-25 网格重新划分示意图

(8) 插入节点 (Insert Node)

插入节点功能是在两个节点之间创建一个新的节点, 如图 3-26 所示, 可结合合并节点使用以修正或消除纵横比不是很理想的单元。图 3-27 所示为插入节点、合并节点示意图。

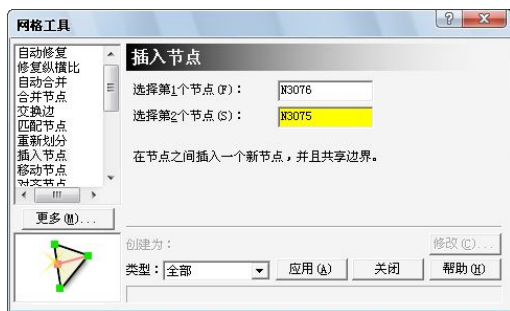


图 3-26 插入节点功能

(9) 移动节点 (Move Nodes)

移动节点功能可以将一个或多个节点, 按照所给出的绝对或相对坐标进行移动, 如图 3-28 所示, 首先选择要移动的节点。然后在“位置坐标”文本框中输入移动节点的目标位置。目标位置根据绝对和相对两种不同的坐标计算方式对不同的数值。



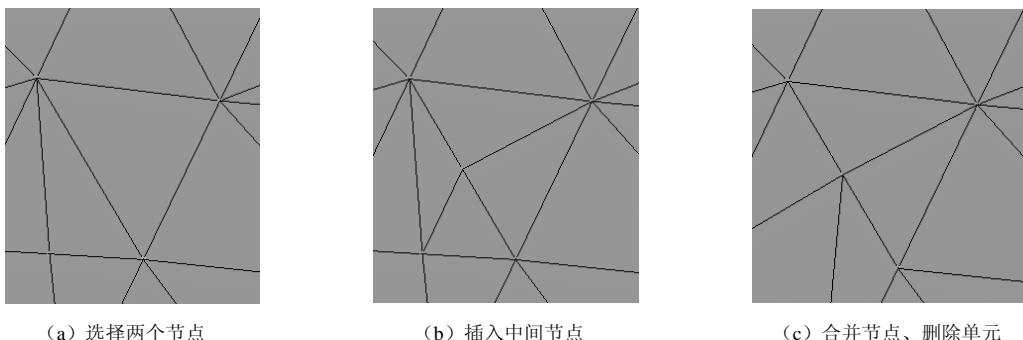


图 3-27 插入节点、合并节点示意图

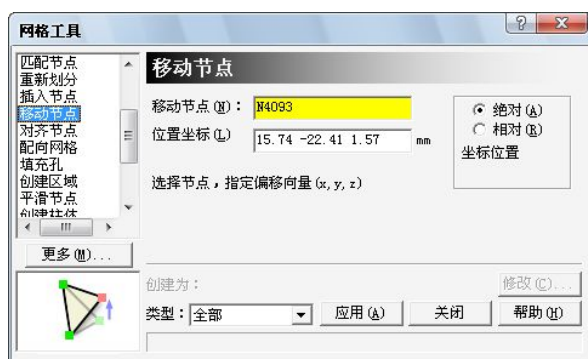


图 3-28 移动节点功能

如图 3-29 中，图 (a) 中选择的节点坐标为 (193, -0.06, -12)，假如执行将该节点沿 z 轴反向移动 2mm 的操作，用户选择绝对坐标输入方式时，应当在“位置坐标”(Location) 后输入 (193, -0.06, 14)，选择相对坐标输入方式时，则应当输入与该节点移动前坐标相对的移动矢量 (0, 0, -2)。两种方法的操作结果相同。

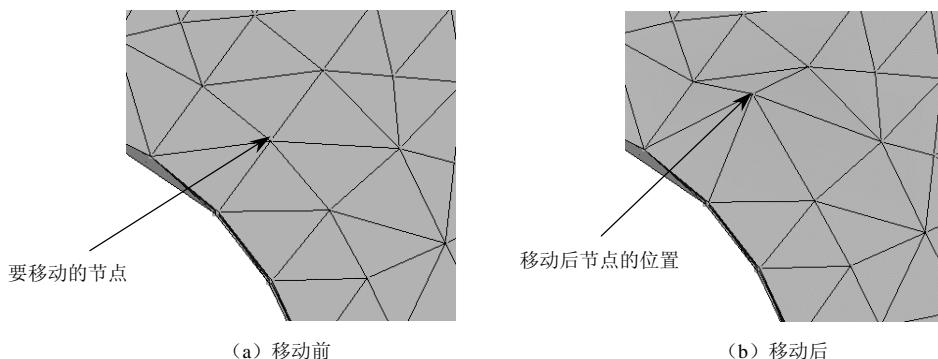


图 3-29 移动节点 (方法一)

还有一种移动节点的方法，就是直接将目标节点用鼠标拖动到目标位置，如图 3-30 所示。

(10) 对齐节点 (Align Nodes)

对齐节点功能可以实现节点的重新对齐排列，先要选定两个节点以确定一条直线，然后选择需要重新排列的点列，单击“应用”(Apply) 按钮，所选节点将重新排列在选定的直线上，如图 3-31 和图 3-32 所示。



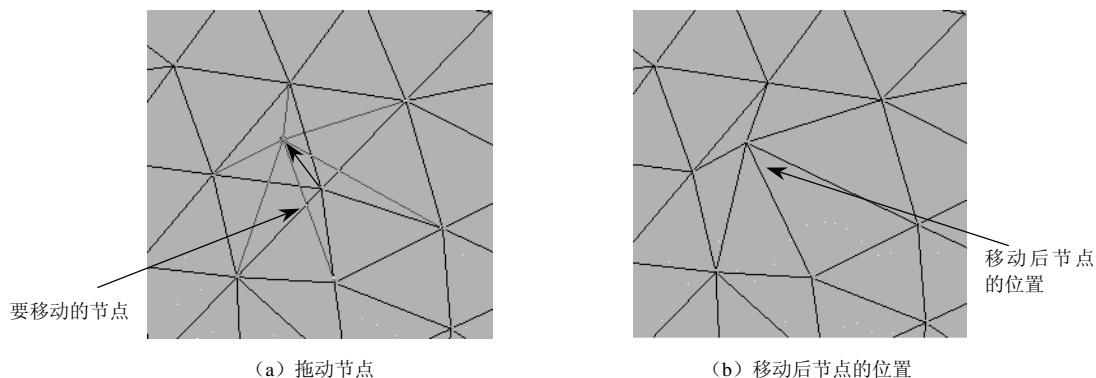


图 3-30 移动节点（方法二）



图 3-31 对齐节点功能

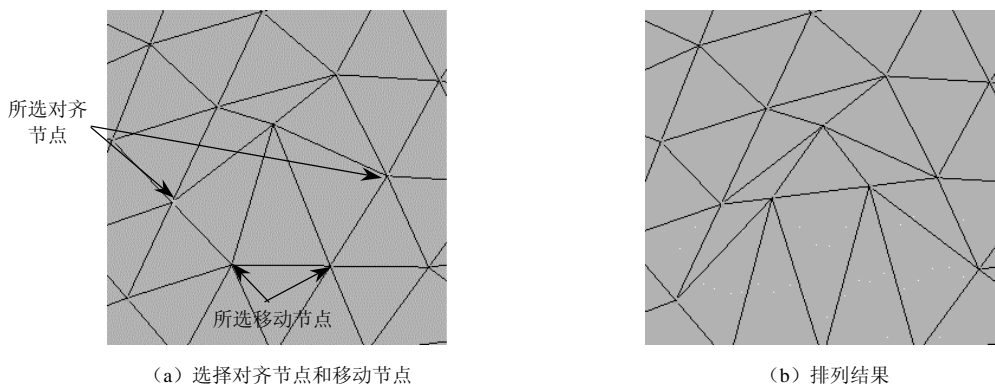


图 3-32 对齐节点示意图

对齐节点 1 (Alignment Node 1) 和对齐节点 2 (Alignment Node 2) 为用户指定的排列基准点，移动节点 (Nodes to Move) 对应的为即将进行重新排列操作的节点。

(11) 配向网格 (Orient Elements)

配向网格功能可以将查找出来的定向不正确的单元重新定向，但不适用于 3D 类型的网格。如图 3-33 所示，先选择要修改的网格，然后选中“反向” (Flip Normal) (或“对齐方向”) 单选按钮，单击“应用” (Apply) 按钮即可。配向网格示意图如图 3-34 所示。



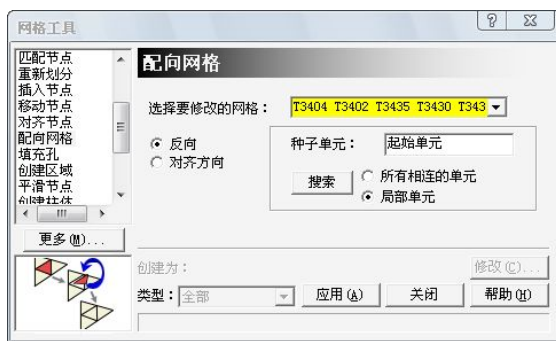
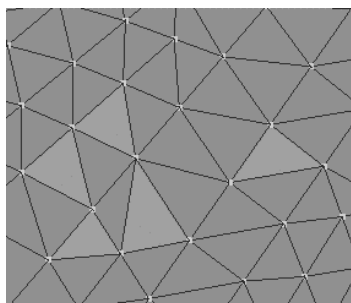
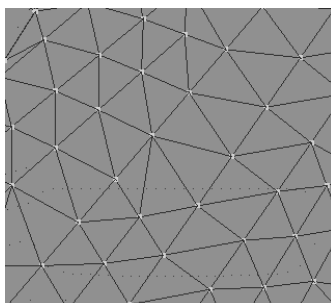


图 3-33 配向网格功能



(a) 选中单元



(b) 配向结果

图 3-34 配向网格示意图

(12) 填充孔 (Fill Hole)

填充孔功能创建三角形单元来填补网格上所存在的洞孔或是缝隙缺陷。首先，选择模型上的洞或是缝隙的边界线，手动选择所有边界节点，或者选择边界上的一个节点后，单击“搜索” (Search) 按钮，这时系统会沿自由边 (Free Edge) 自动搜寻缺陷边界，如图 3-35 所示。

在边界选择完成后，单击“应用”按钮，Moldflow 就会自动在该位置生成三角形单元，完成修补工作，如图所示 3-36 所示。

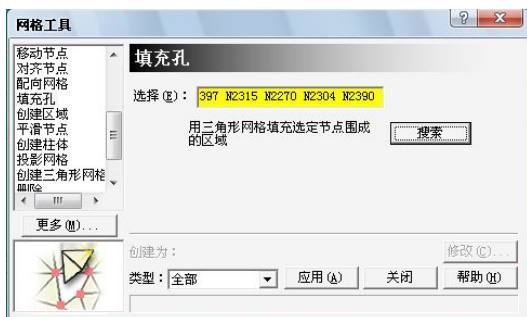


图 3-35 填充孔功能

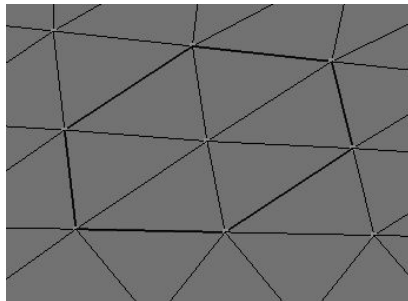


图 3-36 填充后的效果

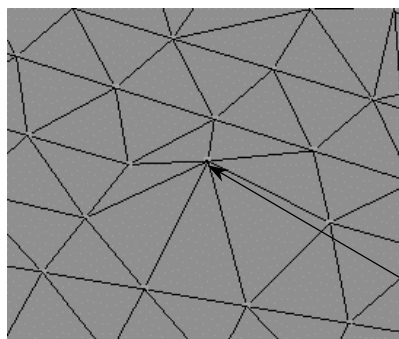
(13) 平滑节点 (Smooth Nodes)

平滑节点功能实际上是将与选定节点有关的单元重新划分网格，目的是得到更加均匀的网格分布，从而有利于计算，如图 3-37 和图 3-38 所示。

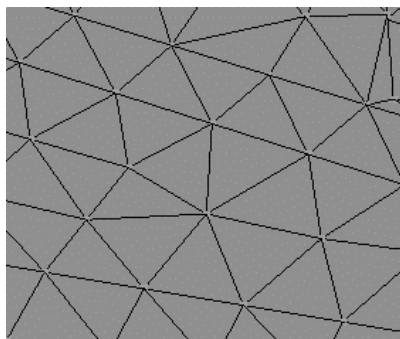




图 3-37 平滑节点功能



(a) 选定节点



(b) 平滑结果

图 3-38 平滑节点示意图

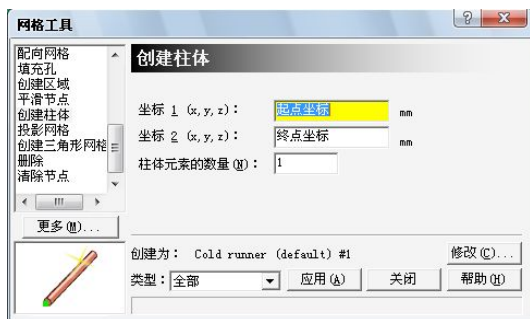


图 3-39 创建柱体功能

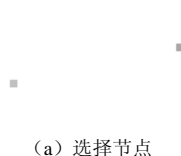
中的“创建三角形网格”命令是一样的，如图 3-41 和图 3-42 所示。

(14) 创建柱体 (Create Beams)

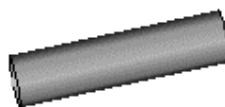
创建柱体功能可以通过存在的节点创建一维单元。一维单元在创建浇注系统、冷却系统时被大量使用。这个功能与“网格”菜单中的“创建柱体网格” (Creat Beams) 命令是一样的。如图 3-39 和图 3-40 所示。

(15) 创建三角形网格 (Create Triangles)

创建三角形网格功能可以通过存在的节点创建三角形单元。这个功能与“网格”菜单



(a) 选择节点



(b) 创建柱体

图 3-40 创建柱体示意图

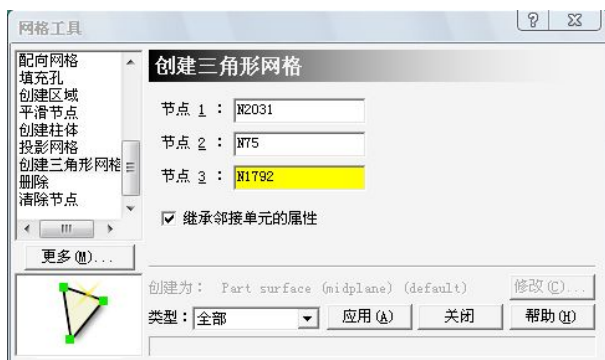


图 3-41 创建三角形网格功能



图 3-42 创建三角形网格示意图

(16) 删除 (Delete Entities)

删除功能可删除所有鼠标选中的单元。

(17) 清除节点 (Purge Nodes)

清除节点功能可以清除网格中与其他单元没有联系的节点，在修补网格基本完成后，使用该功能用来清除多余节点。

(18) 全部单元重定向 (Orient All)

与“网格”菜单中的“全部单元重定向”命令是一样的，可以对网格的全部单元实施重定向。

3.6 网格缺陷诊断

为了更好地对网格存在的缺陷进行处理，Moldflow 提供了丰富的网格缺陷诊断工具，将它们和网格处理工具相结合，可以很好地解决网格缺陷问题。“网格”菜单项如图 3-43 所示。

(1) 纵横比诊断

执行“网格”→“纵横比”诊断 (Aspect Ratio Diagnostic) 命令，弹出“纵横比中断”对话框，如图 3-44 所示。

对话框中“最小”值 (Minimum) 和“最大”值 (Maximum) 分别定义在诊断报告中将显示单元的纵横比的最小值和最大值。一般情况下，推荐在“最大”值一栏为空白，这样模型中比最小纵横比值大的单元都将在诊断中显示，从而可以消除和修改这些缺陷。



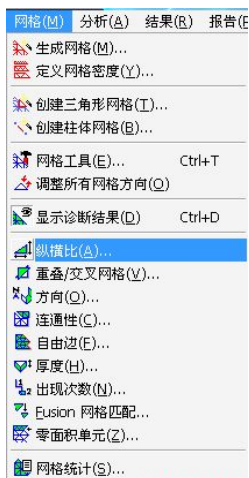


图 3-43 “网格”菜单

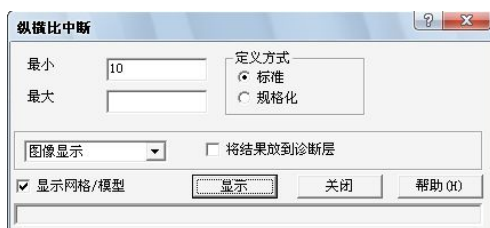


图 3-44 “纵横比中断”对话框

“定义方式”(Preferred Definition)包括两个选项“标准”(Standard)和“规格化”(Normalized)，都是计算三角形单元纵横比的格式。其中推荐使用规格化格式，因为标准格式是为了保持 Moldflow 系统的兼容性而专门设计的，目的是与低版本的 Moldflow 网格纵横比计算相一致。

选中“将结果放到诊断层”(Place Results in Diagnostics Layer)复选框，把诊断结果单独放入一个名为诊断结果(Diagnostics)的图形层中，方便用户查找诊断结果。

下拉列表框中提供了仿真的结果后，在“图像显示”方式下，系统将用不同颜色的引出线指出纵横比大小不同的单元。单击引出线，可以选中存在纵横比缺陷的单元，如图 3-45 所示。

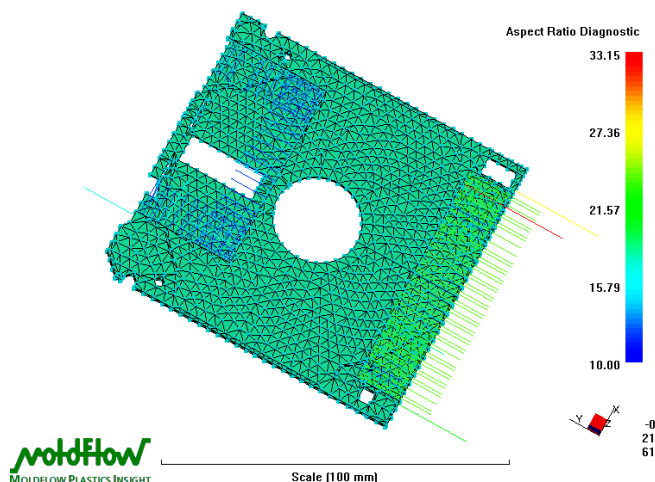


图 3-45 模型中显示的诊断结果(图像显示)

采用“文字描述”(Text)方式后，Moldflow 将把诊断结果以文本的形式在对话框中给出，图 3-46 为用文本方式显示的诊断结果。

(2) 重叠/交叉网格诊断

执行“网格”→“重叠/交叉网格”诊断(Overlapping Elements Diagnostics)命令，会弹出如图 3-47 所示的“重叠网格诊断”对话框。



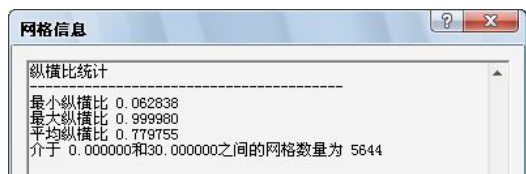


图 3-46 文本方式显示的诊断结果

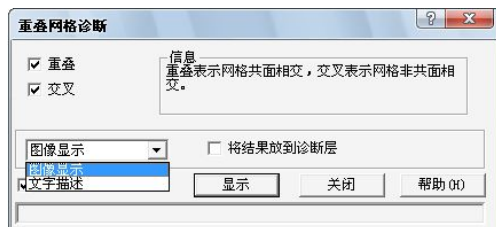


图 3-47 “重叠网格诊断”对话框

在对话框中,选中“重叠”(Overlaps)和“交叉”(Intersections)复选框,同时选择结果显示方式,就可以看到图像或者是文字诊断结果,如图 3-48 和图 3-49 所示。

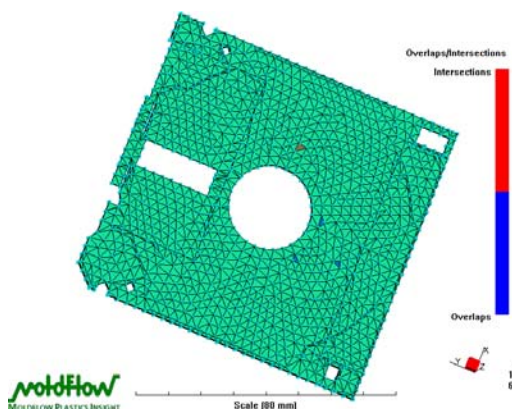


图 3-48 重叠网格诊断结果 (图像显示)

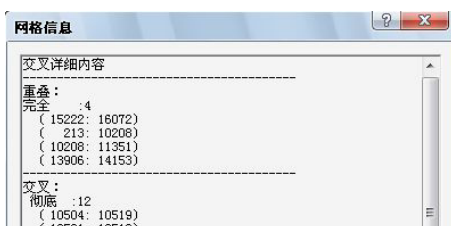


图 3-49 重叠网格诊断结果 (文字描述)

图像显示结果中,用不同的颜色表示网格重叠和网格交叉;在文字结果中,则有详细的缺陷统计数据。

(3) 方向 (网格配向) 诊断

执行“网格”→“方向”诊断 (Mesh Orientation Diagnostic) 命令,会弹出如图 3-50 所示的“网格配向诊断”对话框。

单击“显示网格/模型”(Show)按钮,得到如图 3-51 或图 3-52 所示的结果。

(4) 网格连通性诊断

执行“网格”→“连通性”诊断 (Mesh Connectivity Diagnostic) 命令,会弹出如图 3-53 所示的“网格连通性诊断”对话框。

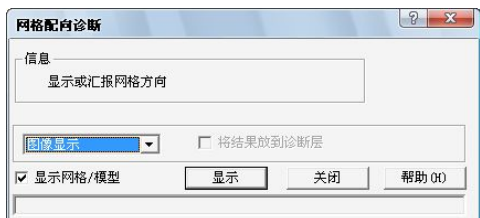


图 3-50 “网格配向诊断”对话框

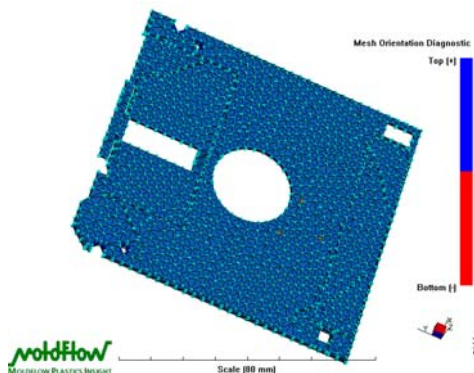


图 3-51 图像显示的结果



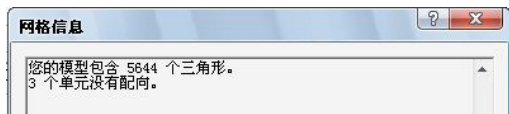


图 3-52 文字描述的结果

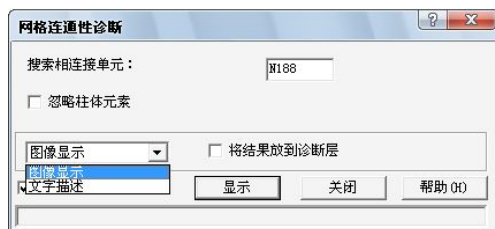


图 3-53 “网格连通性诊断”对话框

“忽略柱体元素” (Start Connectivity Search From Entity) 表示从选中的单元开始，扩散开去检验网格的连通性，选中此项后在诊断模型连通性时将不考虑浇注系统和冷却系统。结果显示如图 3-54 和图 3-55 所示。

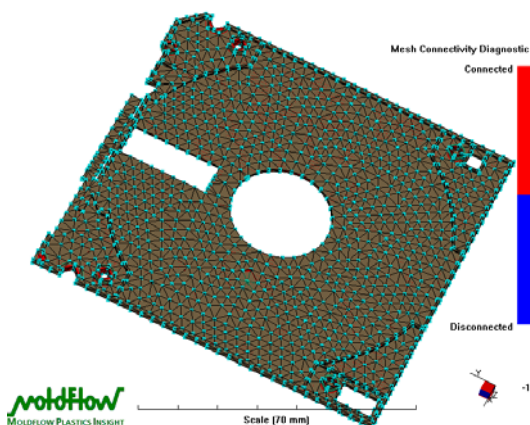


图 3-54 忽略柱体元素图像显示

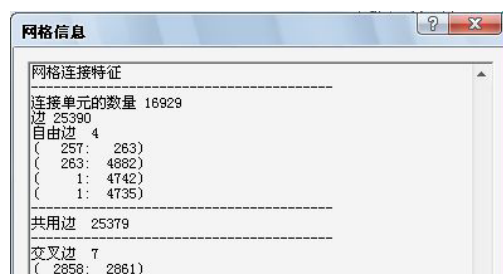


图 3-55 忽略柱体元素文字描述

(5) 网格自由边诊断

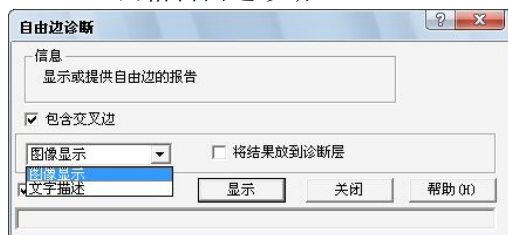


图 3-56 “自由边诊断”对话框

执行“网格”→“自由边”诊断 (Free Edges Diagnostic) 命令，会弹出如图 3-56 所示的“自由边诊断”对话框。

该诊断可以显示模型网格中自由边的存在位置，便于修改缺陷。选中“包含交叉边”(Include non-Manifold Edges)复选框表示诊断结果将包括非交叠边，诊断结果如图 3-57 和图 3-58 所示。

(6) 网格厚度诊断

执行“网格”→“厚度”诊断 (Mesh Thickness Diagnostic) 命令，弹出如图 3-59 所示“网格厚度诊断”对话框，图 3-60 所示为网格厚度诊断结果的图像显示。

(7) 网格出现次数诊断

执行“网格”→“出现次数”诊断 (Occurrence Number Diagnostic) 命令，弹出如图 3-61 所示的“出现次数诊断”对话框，结果显示网格模型中任一部分实际出现的次数，仅对一模多腔的产品有意义。

(8) 网格匹配诊断

执行“网格”→“Fusion 网格匹配”诊断 (Fusion Mesh Diagnostic) 命令，弹出如图 3-62 所示的“Fusion 网格匹配诊断”对话框。



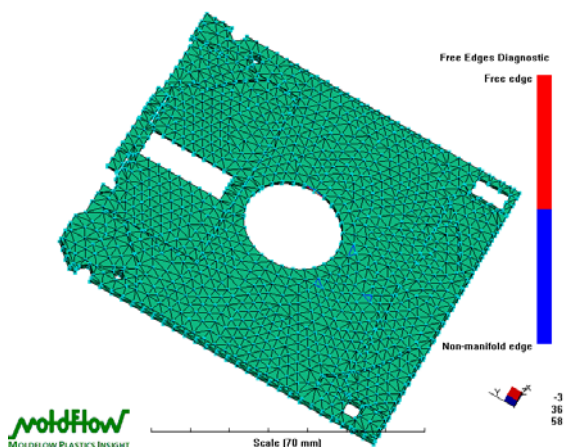


图 3-57 自由边诊断结果 (图像显示)

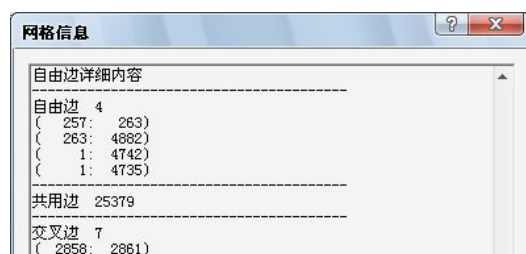


图 3-58 自由边诊断结果 (文字描述)

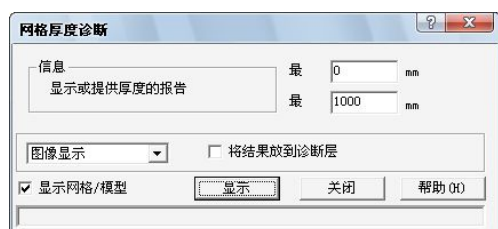


图 3-59 “网格厚度诊断”对话框

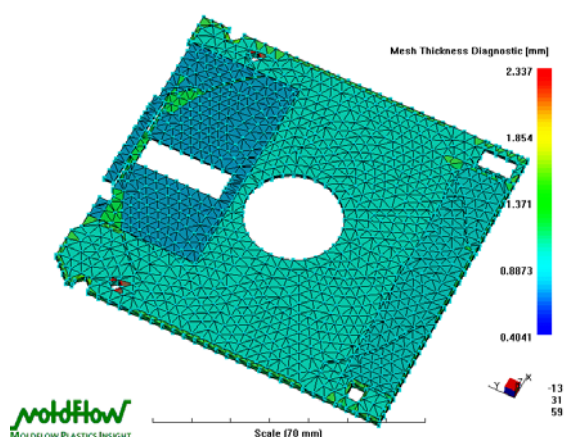


图 3-60 网格厚度诊断结果 (图像显示)

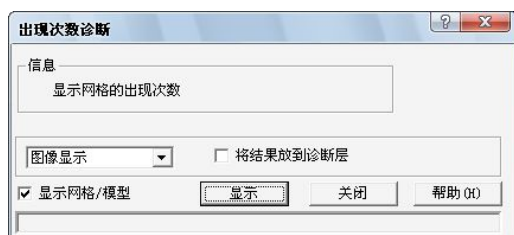


图 3-61 “出现次数诊断”对话框

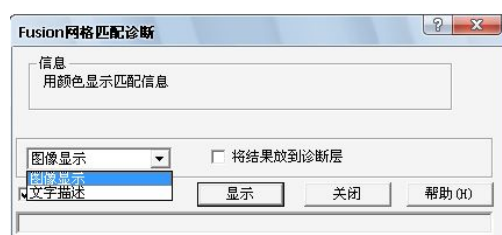


图 3-62 “Fusion 网格匹配诊断”对话框

Fusion 网格匹配诊断显示了 Fusion 模型网格上下表面网格单元的匹配程度，尤其对于翘曲 (Warp) 分析，只有达到 90% 的匹配率，才能得到可靠准确的结果。诊断结果如图 3-63 和图 3-64 所示。



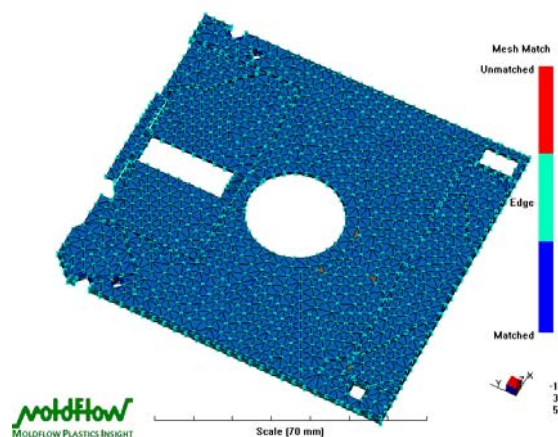


图 3-63 Fusion 网格匹配诊断结果（图像显示）

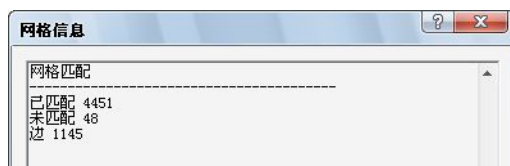


图 3-64 Fusion 网格匹配诊断结果（文字描述）

3.7 网格处理实例

下面针对该模型给出一些常见的网格缺陷处理的方法。针对各种情况的判断与处理，还需要大量的练习来积累经验。

1. 单元纵横比缺陷处理

网格在自动划分过程中，难免出现单元纵横比过大的现象，这就需要手动修改网格的纵横比缺陷，根据不同情况，有不同处理方法。

(1) 合并节点，减小纵横比

如图 3-65 (a) 所示，引出线所指网格单元十分“狭长”，纵横比情况很不理想。这种情况下，可以通过合并节点的方法，达到消除该单元的目的。利用“合并节点”工具，将节点 1 向节点 2 合并，合并的方向十分重要，若节点 2 向节点 1 合并，则模型形状会发生较大的改变。

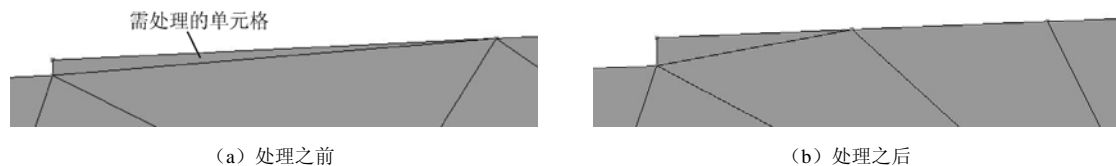


图 3-65 合并节点，减小纵横比

(2) 交换共用边，减小纵横比

采用交换共用边的方法，也可以达到减小单元纵横比的目的。如图 3-66 所示，利用交换边 (Swap Edge) 工具，将网格 1 与网格 2 的共用边交换。

(3) 插入节点，减小纵横比

在第 (2) 中出现的情况有时也可以通过插入节点来解决问题。如图 3-67 所示，利用插入节点 (Insert Node) 工具，在节点 1 与节点 2 之间插入新节点 3，然后再将节点 3 与节点 1 合并。



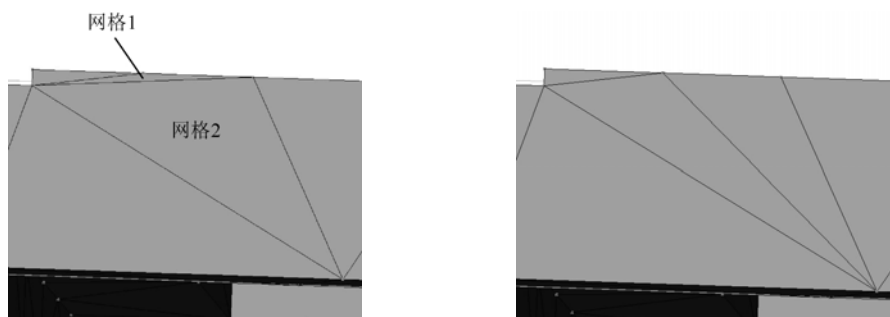


图 3-66 交换共用边，减小纵横比

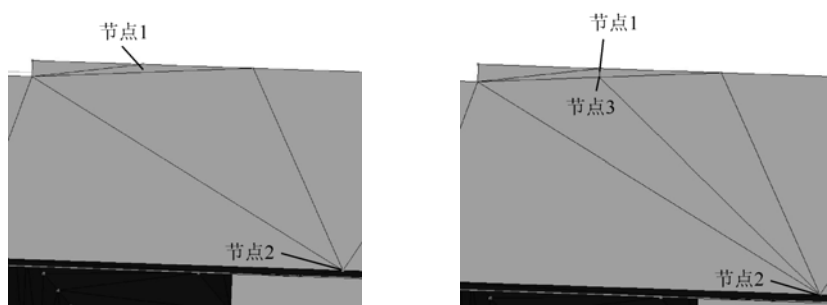


图 3-67 插入节点，减小纵横比

2. 自由边缺陷处理

自由边也是网格中容易出现的缺陷，其产生的原因和处理的方法也很多，下面介绍其中一种。首先需显示自由边缺陷，选择“网格”菜单中的“自由边”诊断命令，在对话框中选中“包含交叉边”复选项，再单击“显示”按钮。然后，在层（Layer）窗口中，只选中“节点”和“诊断结果”层进行显示。这时，自由边缺陷就会突出显示，如图 3-68 所示。

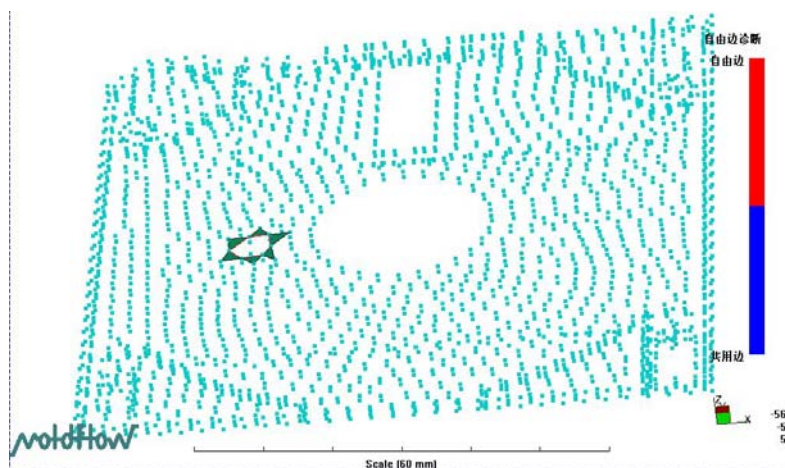


图 3-68 自由边显示

最后，利用“创建三角形网格”工具，将网格中间的洞补上，自由边就会消失，如图 3-69 所示。



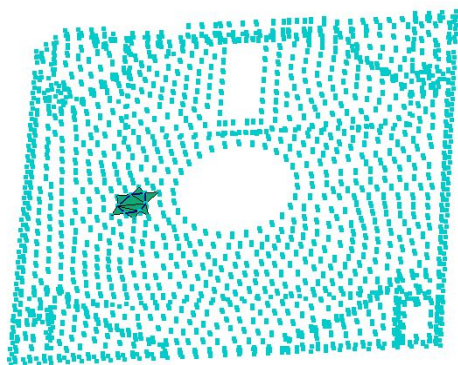


图 3-69 自由边消失

3.8 网格划分实例

3.8.1 模型的网格划分

被分析模型的网格划分和修改是 MPI 分析前处理中最为重要最为复杂的环节，需要耐心仔细地处理，网格划分是否合理，将直接影响到产品的最终分析结果。

(1) 在任务窗口中双击“生成网格”(Create Mesh)图标，或者执行“网格(Mesh)→生成网格(Generate Mesh)”命令，此时系统会弹出“生成网格”对话框，如图 3-70 所示。

(2) 单击“高级”按钮，在“平均边长”文本框中输入所希望的网格大小。网格的边长一般是产品最小壁厚的 1.5~2 倍，这样能够基本保证分析的精度。当然，网格越小分析精度会越高，然而模型修改的复杂程度和系统的计算量都将大大提高。如手机的最小壁厚为 1mm 左右，若给出的平均边长为 4.6mm，则由于划分后发现网格情况不理想，故适当缩小数值，取 2mm。

(3) 单击“预览”(Preview)按钮，可以查看网格划分的大致情况作为参考，如图 3-71 所示。



图 3-70 “生成网格”对话框

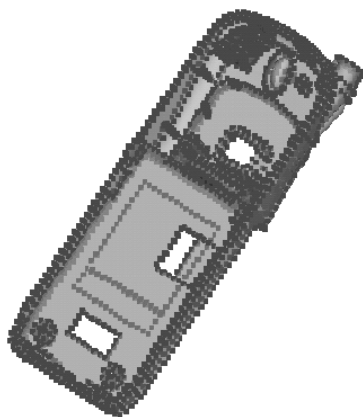


图 3-71 网格划分预览



(4) 单击图 3-70 中的“网格控制”(Mesh Control)图标,选择设置网格划分控制选项,如图 3-72 所示。

网格控制选项中,“后处理”(Post Processing)复选框中的“匹配网格”(Match Mesh)选项针对 Fusion 网格模型,它将在网格划分中匹配两个对应表面的网格单元;“圆滑网格”(Smooth Mesh)选项针对 IGES 格式的 Midplane 网格模型,它将在网格划分中使网格边缘圆滑。

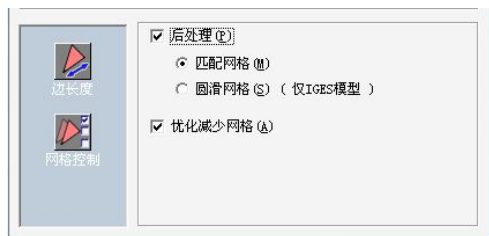


图 3-72 网格划分控制选项

“优化减少网格”(Adaptive Meshing)复选项以保证分析精度为前提,在网格划分过程中,自动确定不同形状区域的网格的大小,例如使产品小细节区域网格较小、平直区域网格较大,从而达到减小网格数量、节省分析计算时间的目的。

(5) 单击图 3-70 中的“生成网格”按钮,系统将根据设置,自动完成网格划分和匹配,其过程可以在界面左下角的消息窗口中看到,网格自动划分结果如图 3-73 所示。

此时,任务对话框中有关网格的图标变为打钩状态,显示表明:网格自动划分完成,网格类型为 Fusion,网格单元个数为 13376。在“层”(Layers)管理对话框中出现了两个新的层: New Nodes 和 New Triangles,如图 3-74 所示,这两个层分别放置三角形网格和节点。



图 3-73 网格自动划分结果



图 3-74 “层”(Layers)管理对话框

3.8.2 网格缺陷修改

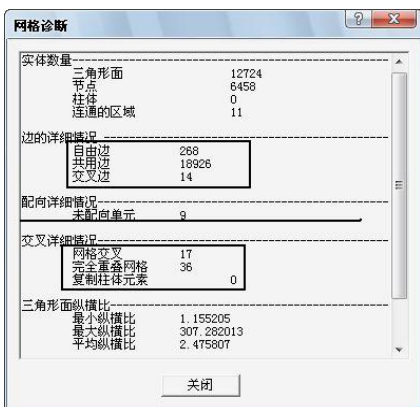


图 3-75 “网格诊断”窗口

系统自动生成的网格可能存在着缺陷,网格的缺陷不仅可能对计算结果的正确性和准确性产生影响,而且在一些网格缺陷比较严重的情况下,会导致计算根本无法进行。所以,这就需要对网格缺陷进行修改。

1. 网格状态统计

在网格修改之前,首先要对网格状态进行统计,再根据统计的结果对现有网格缺陷进行修改。

执行“网格(Mesh)→网格状态统计(Mesh Statistics)”命令,网格统计的结果就会以窗口的形式弹出,如图 3-75 所示。

对于 Fusion 网格模型,网格信息必须满足以下一些



原则:

- (1) 连通的区域的个数应该为 1。
- (2) 自由边和非交叠边个数应该为 0。
- (3) 未配向单元应该为 0。
- (4) 交叉单元个数应该为 0。
- (5) 完全重叠网格个数应该为 0。
- (6) 单元纵横比数值视具体情况而定，一般最大值应控制在 10~30。
- (7) 网格匹配率应大于 85%。
- (8) 零面积单元个数应该为 0。

通过网格状态统计，网格在自由边、交叉边，纵横比以及零面积单元等方面存在问题，这将在下文中逐一修改、解决。

2. 零面积单元修改

在网格状态统计（Mesh Statistics）窗口的网格匹配（Match Ratio）一栏中显示手机模型的网格匹配率达到 88.3%，能够满足将进行的 Warp（翘曲）分析的要求。

对于 MPI/流动-Fusion 分析，网格的匹配率应该达到 85% 以上，低于 50% 的匹配率会导致 Flow 分析自动中断，对于 MPI/翘曲-Fusion 分析，网格匹配率必须超过 85%，如果网格的匹配率太低，需要选择合适网格边长重新划分网格。

网格状态统计窗口中显示零面积单元的个数为 0。零面积单元是指网格中面积很小的单元，其产生的原因可能是自动划分网格过程中出现了很大的纵横比。其修改方法基本上有两种：利用网格工具（Mesh Tools）中的自动合并（Global merge）功能；利用和单元纵横比（Aspect Ratio）有关的诊断、修改工具。

一般采用自动合并功能对零面积单元（Zero Area Triangle Elements）进行自动的修改，如果自动修改功能不能一次完成全部的删除工作，再利用自动合并功能将剩余的零面积单元逐一删除、修改。

(1) 执行“网格（Mesh）→网格工具（Mesh Tools）”命令，弹出“网格工具”对话框，如图 3-76 所示，然后选择“自动合并”功能。

自动合并功能将在全部网格中自动搜索，合并所有距离小于公差范围的节点对，从而达到删除零面积单元的目的，默认的公差为 0.1mm。选中“保护 Fusion 网格”（Preserve Fusion）复选框将保证在合并过程网格类型始终保持为 Fusion，即不会删除连接上下相对应网格的侧面三角形单元。

(2) 单击图 3-76 中的“应用”按钮，完成自动合并，在下方的消息栏中显示“合并了 4 个节点”，如图 3-77 所示。

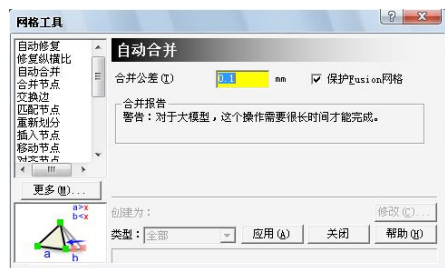


图 3-76 “网格工具”对话框



图 3-77 自动合并结果



(3) 再次执行“网格→网格状态统计”命令，将看到新的网格统计的结果，如图 3-77 所示。

比较修改前后的网格状态统计，不难发现一些改进的地方：

零面积单元的个数仍然为 0；

共用边变为 18914；

交叉单元个数仍然为 17；

网格交叉个数仍然为 36；

自由边个数不变仍为 268。

虽然采用自动合并功能对零面积单元进行自动的修改会产生一些其他的网格缺陷，但是这些新产生的缺陷修改起来相对方便，因此，总体上会提高网格修改的效率。

对网格情况不满意时可以通过重新划分的方法自动修复一些网格缺陷。

(1) 执行“网格(Mesh)→网格工具(Mesh Tools)→重新划分(Remesh Area)”命令，就弹出如图 3-79 所示的对话框。

选择整个零件，单击“应用”按钮，完成重新划分(Remesh Area)，重新统计网格状态，如图 3-80 所示。

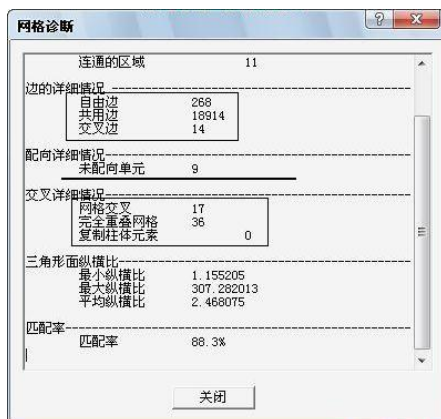


图 3-78 完成自动合并后的网格状态统计结果



图 3-79 “重新划分”(Remesh Area)对话框

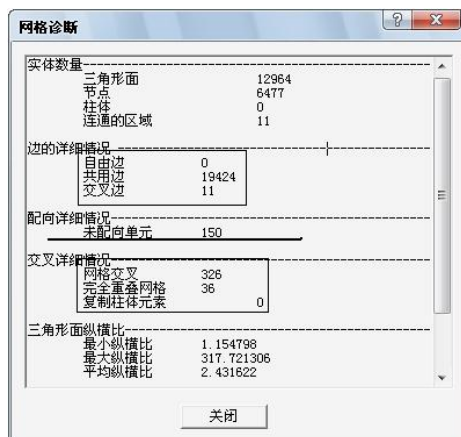


图 3-80 重新划分(Remesh Area)后的网格状态统计

比较修改前后的网格状态统计，发现一些改进的地方：

自由边的个数变为 0；

交叉边个数变为 11；

最大纵横比变为 317.721306；

网格交叉个数由 17 升为 326；

完全重叠网格个数仍然为 36；

但也产生了一个新的缺陷。

未配向单元(Elements Not Oriented)个数为变为 150，但由于未配向单元只需重新配向，较易修改。



3. 自由边（Free Edges）修改

自由边是指 Fusion 模型中某个三角形单元的一条边没有与其他三角形共用，这在 Fusion 和 3D 类型网格中是不允许的，如图 3-81 所示。

可以利用自由边工具搜索出自由边所在的三角形单元。执行“网格（Mesh）→自由边”命令，会弹出如图 3-82 所示的对话框。

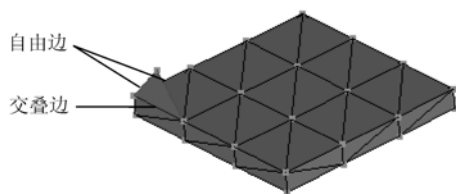


图 3-81 图自由边（Free Edges）



图 3-82 “自由边诊断”对话框

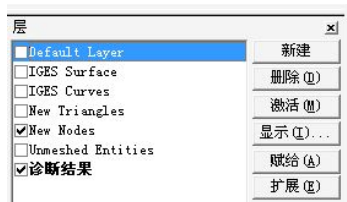
选择“图形显示”模式，并选择“将结果放到诊断层”（Place Results In Diagnostics Layer），单击“显示”按钮，则对话框消息栏中会显示（生成诊断：显示了 44 个单元）。如图 3-83 所示，结果中应该还包括非交叠边。自由边的诊断结果会单独放在一个新的层诊断结果（Diagnostic Results）中，如图 3-84（a）所示。在层管理窗口中，取消“New Triangles”层，如图 3-84（b）所示，则可以清楚地显示出自由边所在的三角形单元，如图 3-85 所示。



图 3-83 自由边诊断结果



(a)



(b)

图 3-84 图层管理

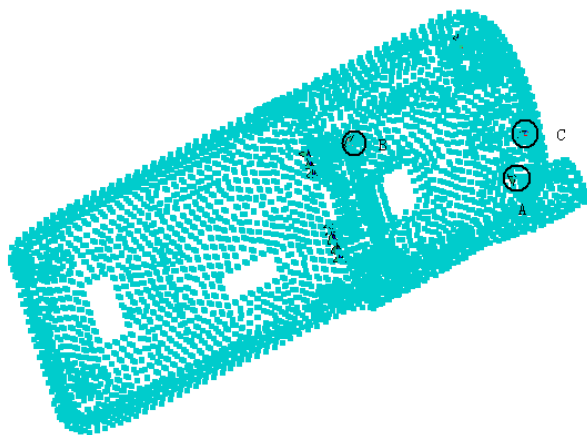


图 3-85 自由边所在三角形单元显示



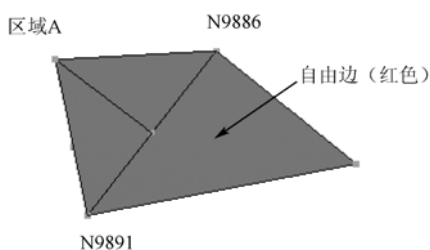
在利用自由边诊断工具时,如果显示方式选择的是“文字描述”,而不“是图形显示”,则诊断结果会以文字的形式显示出来:自由边 0 个,交叉边 11 个,如图 3-86 所示,“12094: 12097”表示交叉边的两个端点的节点编号,可以通过节点编号找到缺陷位置。文字显示结果与图 3-80 显示的结果是一致的。

将缺陷放大观察,发现缺陷大致由三种情况引起。

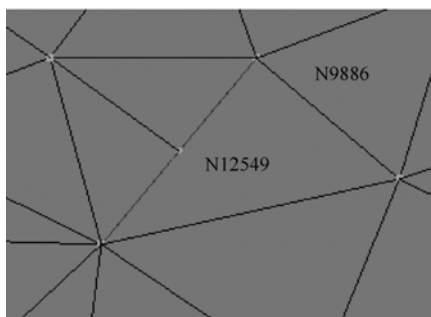
将 A 区域(图 3-85)放大可以看到缺陷的情况,如图 3-87 (a) 所示,在层管理窗口中选择“New Triangles”可以看到周围网格单元的情况,如图 3-87 (b) 所示。



图 3-86 自由边、非交叠边的文字显示



(a)



(b)

图 3-87 A 区域的自由边情况

A 区域的情况可以通过合并节点 (Merge Nodes) 的方式来删除自由边,如图 3-87 (b) 所示。执行“网格 (Mesh) → 网格工具 (Mesh Tools) → 合并节点 (Merge Nodes)”命令,再选择节点 N12549、N9886,单击“应用”按钮,如图 3-88 所示,修改结果如图 3-89 所示。

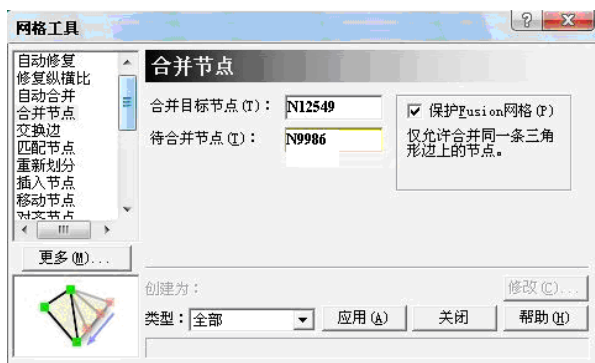


图 3-88 合并节点 (消除 A 区域自由边)

将 B 区域放大可以清楚地看到有一个悬空的三角形单元,即该单元仅有一边与其他单元共用(蓝色显示的非交叠边),另外两边悬空(红色虚线显示的自由边),如图 3-90 所示。

B 区域的情况可以通过删除单元 T10662 的方法解决。执行“网格 (Mesh) → 网格工具 (Mesh Tools) → 删除对象 (Delete Entities)”命令,选中悬空单元 T10662,单击“应用”(Apply)按钮。



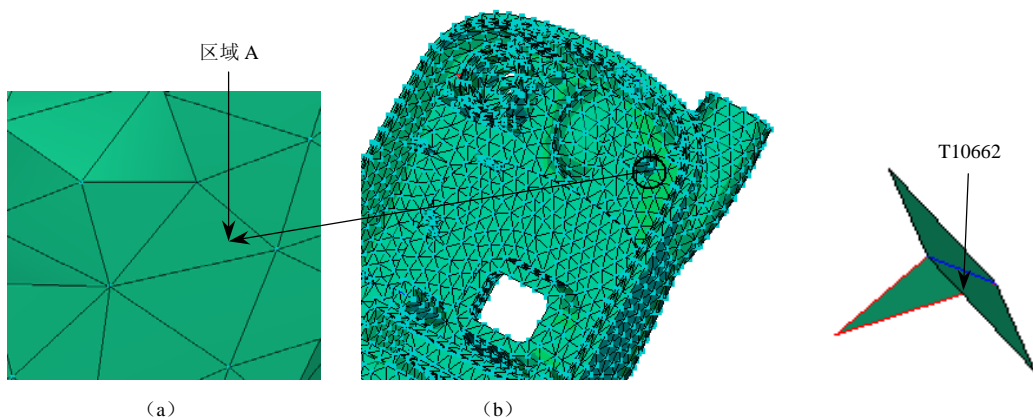


图 3-89 A 区域的自由边修改结果

图 3-90 B 区域自由边和非交叠边情况

对于自由边的诊断是实时显示的，当完成悬空单元 T10662 的删除后，红色的自由边和蓝色的非交叠边都会自动消失，如图 3-91 所示。

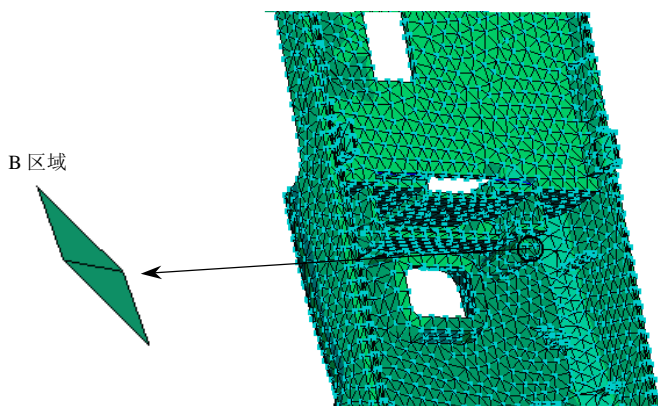
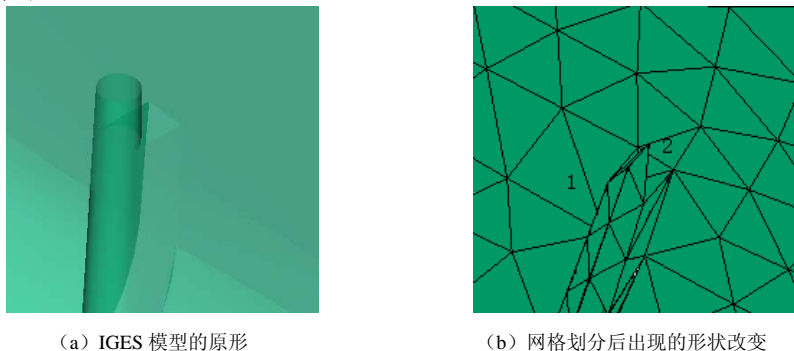


图 3-91 B 区域自由边和非交叠边修改结果

将 C 区域放大可以发现该处的缺陷类型与 B 区域基本一致。

在查看和修改 C 区域的时候，可以发现网格中的另外一个缺陷，如图 3-92 所示。这种缺陷是网格划分过程中随机产生的，但是也与网格划分的预设大小和产品形状有一定的联系。这里提醒读者在网格修改的过程中，一旦发现缺陷应该立即修改，否则一些随机缺陷是很难再次找到的。



(a) IGES 模型的原形

(b) 网格划分后出现的形状改变

图 3-92 C 区域的随机缺陷



(1) 根据产品模型的实际尺寸, 通过节点 1 (N10157)、节点 2 (N10157) 创建新节点。如图 3-93 所示, 执行“建模 (Molding) → 创建节点 (Create Nodes) → 中点 (Between)”命令, 再选择节点 1 (N10155) 和节点 2 (N10157), 创建节点 3 (N12570), 然后分别再创建节点 4 (N12571) 和节点 5 (N12572), 如图 3-94 所示。

(2) 删除三角形单元 (T8828 T5176), 如图 3-95 所示。

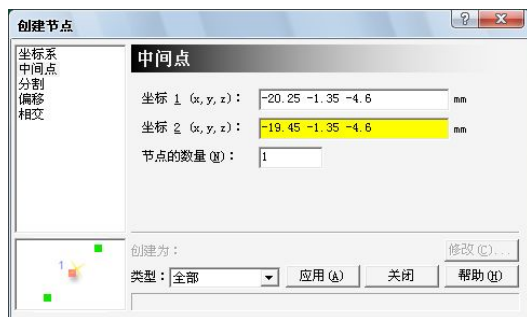


图 3-93 “创建节点” (Create Nodes) 对话框

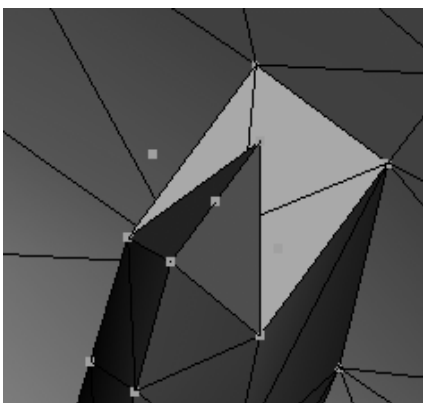


图 3-94 创建节点

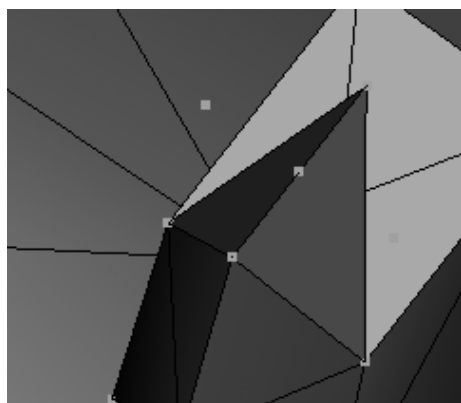


图 3-95 删除三角形单元

(3) 执行“网格 Mesh → 创建三角形单元 (Create Triangles)”命令, 创建 8 个三角形单元, 修正缺陷, 其结果如图 3-96 所示。

再看看网格的状态统计, 如图 3-97 所示。

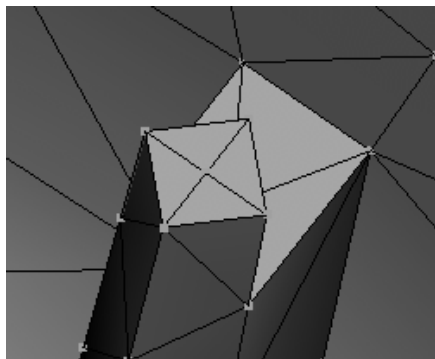


图 3-96 修改结果

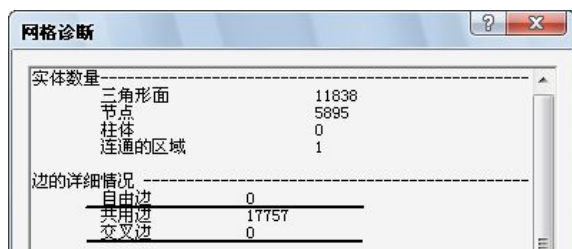


图 3-97 自由边和非交叠边修改结果

在确认自由边和非交叠边缺陷完全修改完成之后, 可以将诊断层中的网格重新归属到网格层 (New Triangles) 中, 这样便于网格的管理。

- (1) 仅选择显示“诊断结果” (Diagnostic Results), 选择该层所有网格, 如图 3-98 所示。
- (2) 选择 New Triangles (网格层), 单击“赋给”按钮, 如图 3-99 所示。
- (3) 删除空的诊断结果, 如图 3-100 所示。





图 3-98 选择诊断层

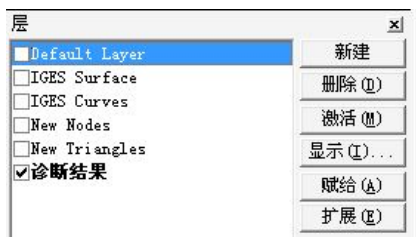


图 3-99 选择网格层

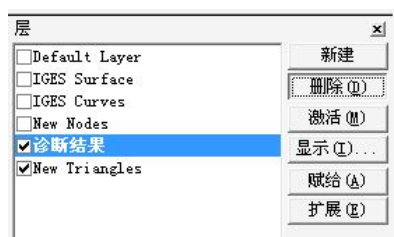


图 3-100 删除空的诊断层

4. 重叠、交叉单元修改

重叠网格是指在同一平面的网格单元部分或者完全重叠的情况，如图 3-101 所示。在分析前处理过程中，重叠网格必须全修改，否则会影响到分析的正常进行。

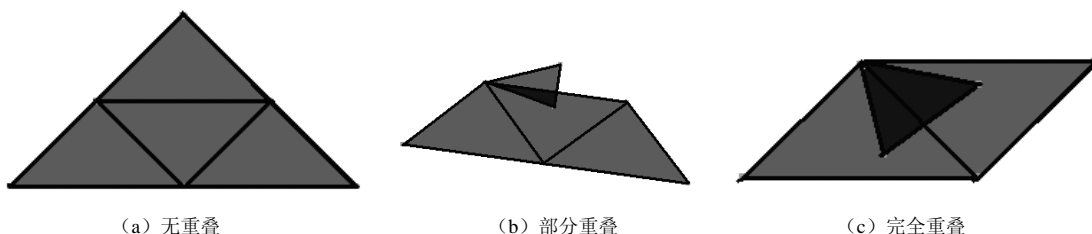


图 3-101 重叠网格

交叉网格是指在不同平面上网格单元相互从内部交叉的情况，即相交部分并非三角形单元的某边，如图 3-102 所示。在分析的前处理过程中，交叉网格也必须全部除去。

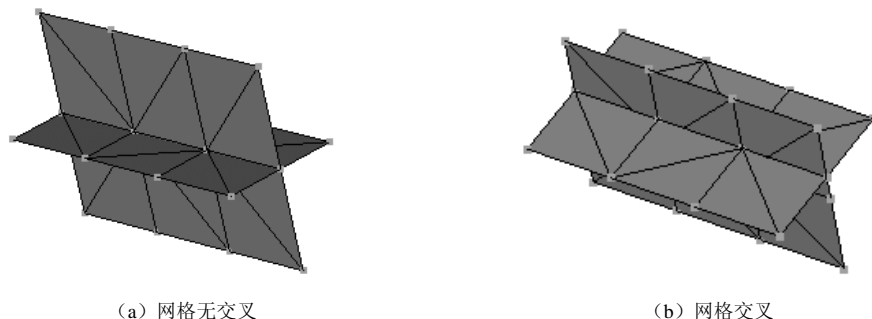


图 3-102 交叉网格

利用重叠网格工具（Overlapping Elements）搜索出重叠、交叉网格所在的三角形单元。执行“网格（Mesh）→重叠网格工具（Overlapping Elements）”命令，会弹出如图 3-103 所

示的对话框。选项情况也如图所示，单击“显示”（Show）按钮，重叠、交叉网格将被放置在一个新层（诊断结果）中。在层管理窗口中，仅勾选“New Nodes”和“诊断结果”两个层，可以清楚地看到缺陷发生的位置，如图 3-104 所示。

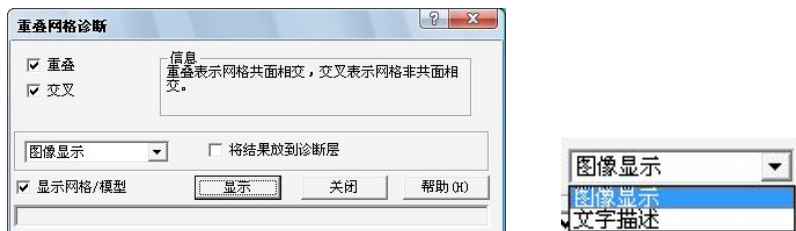


图 3-103 “重叠网格诊断”对话框

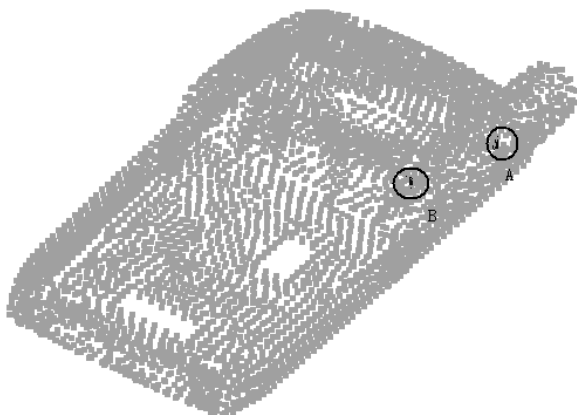


图 3-104 重叠网格显示

重叠和交叉网格的诊断都是利用重叠网格诊断工具进行的，使用时可以通过勾选不同的选项来实现。

利用诊断工具中的文字描述显示方式，可以清楚地看到重叠单元的编号，并且得知网格中无交叉单元的缺陷，如图 3-105 所示。

查看 A 区域（图 3-104）的网格重叠情况，将 A 区域放大，如图 3-106 所示。三角形单元（T11808: T11815）完全重叠。

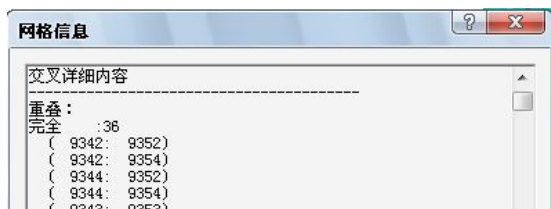


图 3-105 重叠单元的文字编号

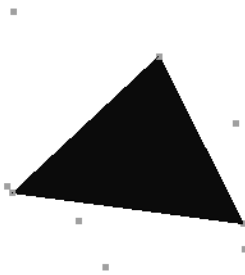


图 3-106 区域 A 重叠单元情况

在层管理窗口中勾选“New Triangles”，可以看到重叠网格周围单元的情况，如图 3-107（a）所示，同时将其与 A 区域的产品 IGES 格式相比较，如图 3-107（b）所示，可以发现重叠单



元缺陷发生的原因是手机模型在此处有尖锐的曲面结合。

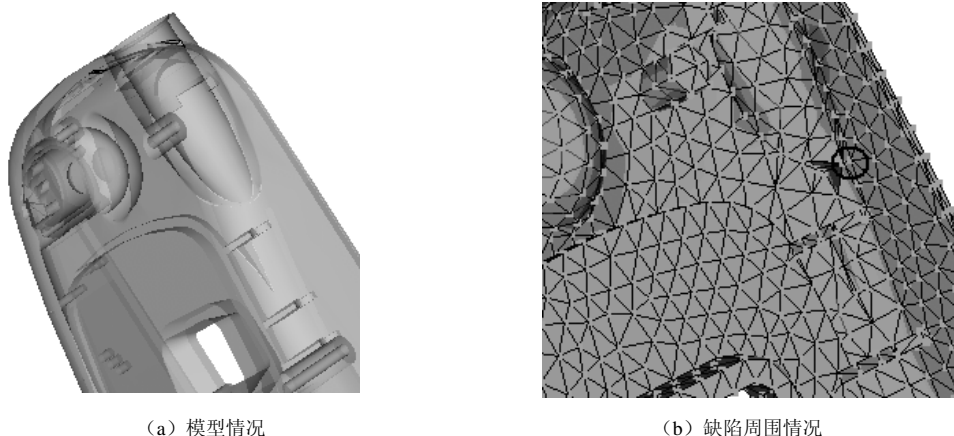


图 3-107 A 区域重叠单元情况

在产品模型中，由于小的倒角或者是一些其他小的结构上的细节，都有可能造成网格缺陷，常见的缺陷有网格重叠、网格交叉、大纵横比单元等。其产生的原因：由于三角形网格的连续性和共用边（Manifold Edges）的要求，当产品形状趋势发生较大变化，且以圆角或自由曲面过渡时，将给网格划分带来困难，从而出现网格缺陷。解决的方法通常是简化模型，即在不影响产品成型分析的前提下，尽量将小的圆角和自由式曲面过渡简化为直角过渡。

在分析了缺陷产生的原因之后，再对 A 区域的网格重叠进行修改，修改方法相对简单，只要将图 3-107 (b) 中圆圈中的节点合并即可。操作方法如下。

(1) 执行“网格 (Mesh) → 网格工具 (Mesh Tools) → 合并节点 (Merge Nodes)”命令，分别选择节点 N6695、N11463，单击“应用” (Apply) 按钮。修改结果如图 3-108 所示。

在图 3-107 (b) 中，圆圈的部位并没有网格重叠的缺陷，但是由于模型圆角的存在，在此处出现了较大纵横比的三角形单元，这里也把两个节点合并了。如果这里不修改，在后面的纵横比缺陷的修改过程中，还是要对其进行处理的。在完成了重叠单元的修改工作之后，再来看看网格的状态统计，如图 3-109 所示。

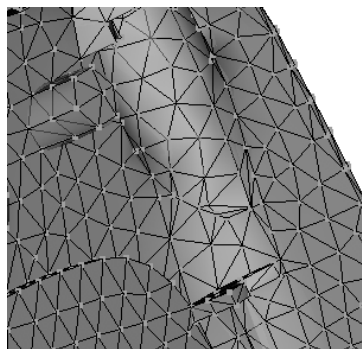


图 3-108 A 区域修改结果

网格诊断		
实体数量		
三角形面	11838	
节点	5895	
柱体	0	
连通的区域	1	
边的详细情况		
自由边	0	
共用边	17757	
交叉边	0	
配向详细情况		
未配向单元	0	
交叉详细情况		
网格交叉	0	
完全重叠网格	0	
复制柱体元素	0	

图 3-109 重叠、交叉网格修改结果

在确认重叠、交叉缺陷修改完成后，同样可以将诊断层 (Diagnostic Results) 中网格重



新归属到网格层（New Triangles）中，这样便于网格的管理。

5. 大纵横比单元（Maximum Aspect Ratio）修改

纵横比（Aspect Ratio）是指三角形单元的最长边与该边上的三角形的高的比值 $A_R=a:b$ ，如图 3-110 所示。

根据三角形网格纵横比的定义，可以得到纵横比的取值范围为 $1.16 \sim \infty$ 。其中 1.16 是等边三角形的情况，而无穷大则是成为直线的情况。

一般情况下，要求三角形单元的纵横比要小于 6，这样才能保证分析结果的精确性。但是有些情况下并不能满足所有的网格单元的纵横比都达到这个要求，因此要保证网格平均纵横比小于 6 的前提下，尽量降低网格的最大纵横比。



图 3-110 三角形单元纵横比

对于大纵横比网格修改，也是在网格诊断工具的帮助下进行的。执行“网格（Mesh）→ 网格纵横比（Aspect Ratio）”命令，会弹出如图 3-111 所示的对话框。

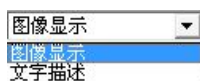
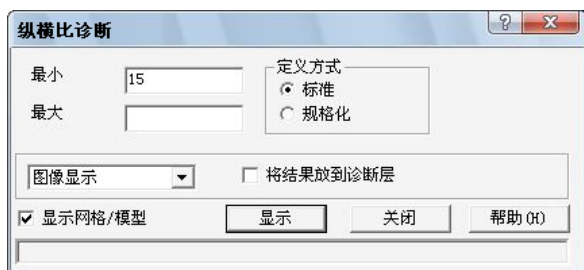


图 3-111 “纵横比诊断”对话框

选择情况如图 3-111 所示，在“最小”文本框中填入“15”，它表示所显示的网格的最小纵横比，而“最大”文本框一般不填，这样单击“显示”（Show）按钮后，会将纵横比大于 15 的网格全部显示出来，并在对话框消息栏中出现被显示单元的个数（这里共有三个单元的纵横比大于 15）。

“定义方式”（Preferred Definition）选项组中的两项表示三角形网格纵横比的两种不同定义，其中“标准”定义，其计算方式为前面所介绍的 $A_R=a:b$ ；

“规格化”定义，其计算方法为 $A_R = \frac{4\sqrt{3}S}{l_1^2 + l_2^2 + l_3^2}$ ；其中 S 表示

三角形面积， l_i ($i=1, 2, 3$) 表示三角形各条边长。两种定义仅仅是两种不同的三角形网格纵横比的计算方式，并且取值范围也有所不同，“标准”取值范围为 $1.16 \sim \infty$ ，而“规格化”取值范围为 $0 \sim 1$ 。

采用“图像显示”方式显示诊断结果时，系统将用不同的颜色引出线指出纵横比大小超出指定标准的三角形网格单元，如图 3-112 所示。

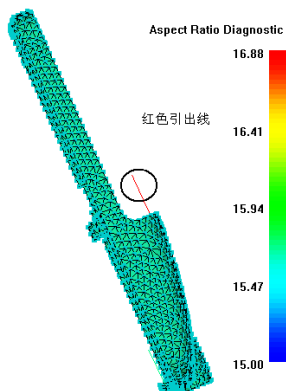


图 3-112 三角形单元纵横比诊断结果（图像显示）

通过单击引出线，可以选中相应的存在纵横比缺陷的三角形单元。引出线的方向是与三角形单元所在平面垂直的，这样



通过引出线的方向可以方便地找到相应的单元和恰当的观察视角。

三角形单元纵横比缺陷的修改一般遵循“从大到小，区域优先”的原则，即从具有最大纵横比的三角形单元开始修改，并且争取一次性将同一区域与其相邻的缺陷网格也一并修改，这样既可以保证网格的修改质量，也不至于有所遗漏。

单击代表最大纵横比网格的红色引出线，找到相应的区域和缺陷网格，如图 3-113 所示。在找到相应的网格缺陷区域后，不要急于修改，首先要分析网格缺陷情况，并将其与对称区域的理想网格进行对比，找出最佳的网格修改方案。此区域的网格除了红色引出线所指出的网格缺陷外，还存在其他缺陷，而且网格划分非常凌乱，修改方法如下。

(1) 执行“网格 (Mesh) → 网格工具 (Mesh Tool) → 插入节点 (Insert Nodes)”命令，分别选择节点 1 (N7132)、节点 2 (N6847)，单击“应用”按钮。

(2) 移动新节点，执行“网格 (Mesh) → 网格工具 (Mesh Tool) → 移动节点 (Move Nodes)”命令，选择新生成的节点 3 (N12573)，移动到恰当的位置，单击“应用”按钮。修改完成后的结果如图 3-114 所示。

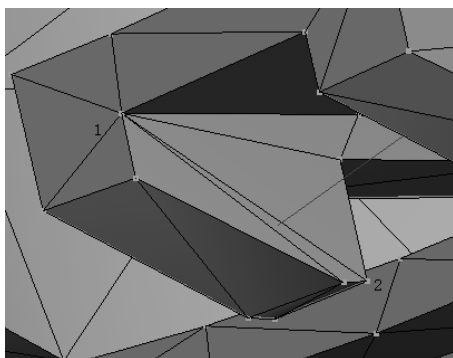


图 3-113 网格的缺陷情况

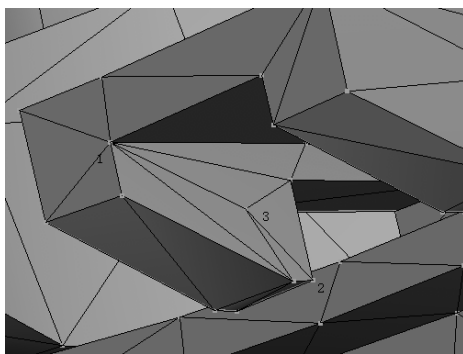


图 3-114 网格的缺陷修改结果

网格纵横比缺陷的修改是网格修改过程中工作量最大的一部分，而且纵横比修改的灵活性很大，同一网格模型，相同的缺陷，不同的操作会有不一样的修改结果。

在修改纵横比存在问题的网格单元的过程中，经常会发现一些其他类型缺陷的网格单元，也就是说不同缺陷类型的网格单元是交织在一起的，其中有些缺陷网格并不是“致命”的，即这些网格的存在不会导致分析的完全失败，但是会影响到结果的精确程度。

6. 其他类型缺陷

缺陷 A。位置如图 3-115 所示，将区域放大，网格单元情况如图 3-116 所示，修改方法如下。

(1) 执行“网格 (Mesh) → 网格工具 (Mesh Tool) → 对齐节点 (Align Nodes)”命令。

(2) 连续选择节点 1 (N8528)、节点 2 (N8523)、节点 3 (N8524)，修改结果如图 3-117 所示。

缺陷 B。位置如图 3-118 所示。将该区放大，网格单元情况如图 3-119 所示。

缺陷 B 属于在网格划分的过程中，出现了形状细节特征丢失的情况，如果对于分析结果要求不是很高，这类缺陷可以忽略；如果分析要求较高或恰好需要分析该处的产品成型情况，则需要根据产品实际形状进行修补，具体方法如下。



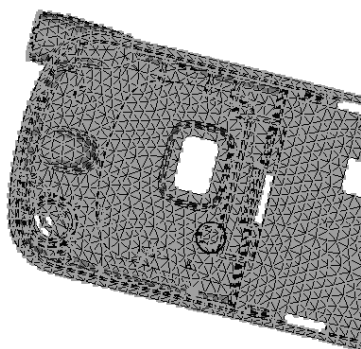


图 3-115 缺陷 A 的位置

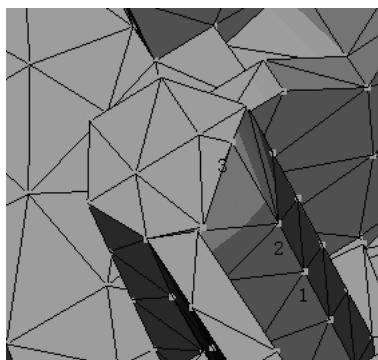


图 3-116 缺陷 A 的具体情况

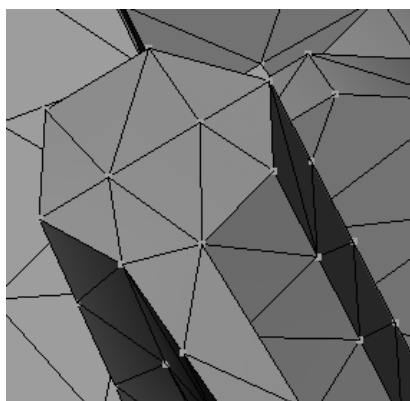


图 3-117 缺陷 A 的修改结果

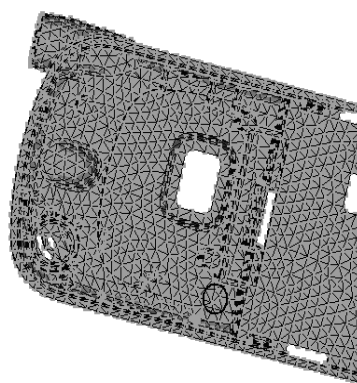


图 3-118 缺陷 B 的位置

- (1) 创建一个新的节点，相对于节点 N8628 的移动矢量是 $(0, 0, -0.43)$ 。
- (2) 删除三角形单元 T2987、T2986、T2958。
- (3) 围绕两个新建节点，根据对称位置的网格情况，重新创建三角形单元，修改结果如图 3-120 所示。

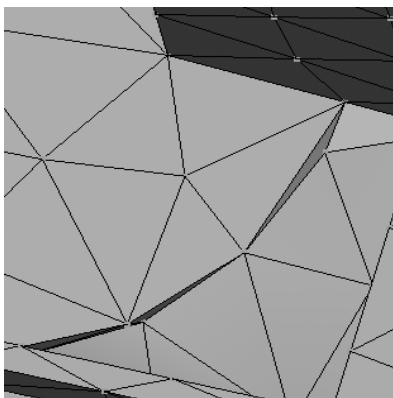


图 3-119 缺陷 B 的具体情况

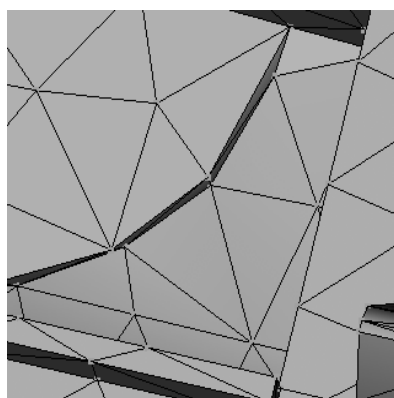


图 3-120 缺陷 B 的修改结果

根据经验，网格的缺陷一般具有对称性和区域性，即在产品相同结构和对称结构处，容易产生相同或相似的网格缺陷，因此，对网格要进行细致的检查。



缺陷 C。经过检查，发现 C 区域存在与缺陷 B 相似的缺陷，即缺陷 C。C 区域位置如图 3-121 所示，具体情况如图 3-122 所示。

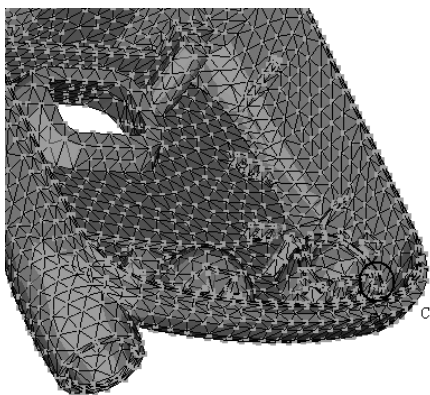


图 3-121 缺陷 C 的位置

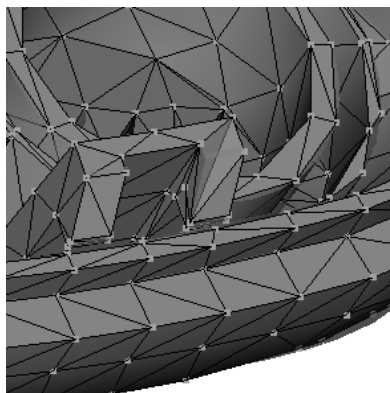


图 3-122 缺陷 C 的具体情况

缺陷 C 属于在网格划分的过程中，出现了形状细节特征变形的情况，下面以缺陷 C 为例介绍修改过程。

- (1) 删除三角形单元 T11937、T11940，并创建新节点 3 (N12574)。
- (2) 重新创建三个三角形单元，修改结果如图 3-123 所示。
- (3) 经过上述对 A、B、C 三种缺陷的修改，已经基本完成了网格的修改工作，下面再次确认网格的状态统计结果，如图 3-124 所示。

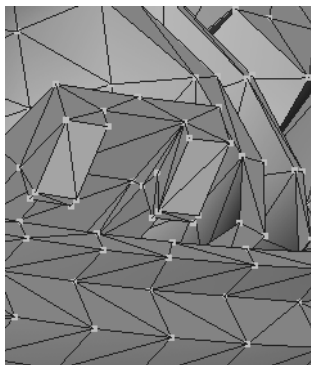


图 3-123 缺陷 C 的修改结果

配向详细情况	
未配向单元	150

图 3-124 网格诊断结果

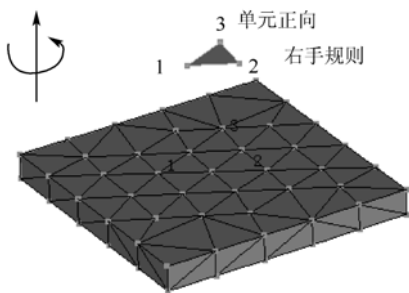


图 3-125 网格单元配向规则

可以发现，在网格的修改结果中出现了新的未配向的单元，同样的情况在完成自动合并后也曾经出现过，下面介绍未定向单元的有关情况和修改方法。

7. 未定向单元修改

在 MPI 的 Fusion 模型中，每个网格单元都存在一个规定的方向，即每个单元都有一个顶面 (Top) 和一个底面 (Bottom)，其中顶面的方向与网格模型中每个三角形单元的顶点序列呈右手规则，如图 3-125 所示，MPI 要求在进行分析计算之前，模型中的每一个单元的

顶面都需要朝向外表面。

对于未定向单元网格，也是通过网格诊断工具先找到它们所在的位置。执行“网格 (Mesh)→网格配向”(Orientation)命令，会弹出如图 3-126 所示的对话框。单击“显示”(Show)按钮，将会显示网格模型的单元定向情况，如图 3-127 所示，其中，蓝色单元表示顶面，红色单元表示底面，修改的目标就是消除红色单元。



图 3-126 “网格配向诊断”对话框

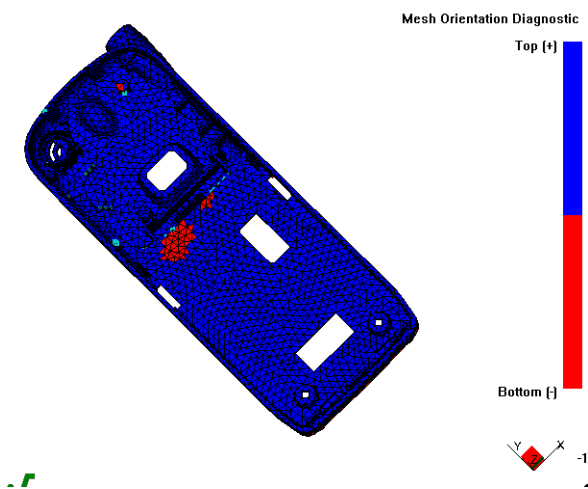


图 3-127 网格单元的配向情况

(1) 执行“网格 (Mesh)→配向网格 (Orient All)”命令。

(2) 或者通过执行“网格 (Mesh)→网格工具 (Mesh Tool)→配向网格 (Orient Elements)”命令，如图 3-128 所示。

(3) 选择未定向单元 (红色单元)，单击“应用”(Apply)按钮即可。

在网格的修改过程中，删除和创建三角形单元是常用的方法，在了解网格的配向规则之后，在创建网格时应尽量根据右手规则，顺序选择三角形的三个节点，从而可以避免网格单元定向错误的问题。网格模型经过一系列的修改，已经基本达到分析的要求，状态统计如图 3-129 所示。

在确认模型网格缺陷修改完成之后，可以利用层管理窗口中的一些工具，将不同层中的网格类型归类，同时删除在网格诊断过程中出现的一些新的诊断结果层。一般情况下，可以将网格归到以下几层。

(1) New Nodes: 节点层；

(2) New Triangles: 三角形单元层；



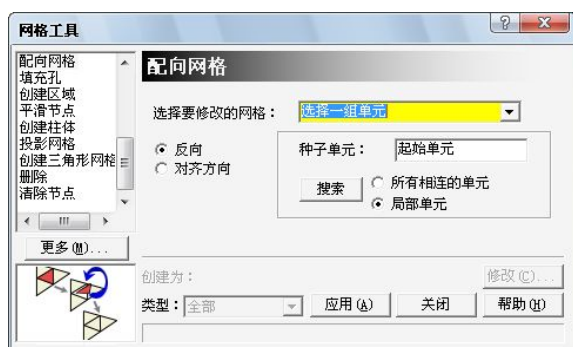


图 3-128 配向网格工具

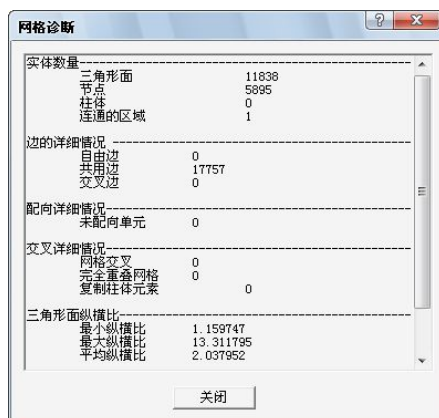


图 3-129 网格单元的最终状态统计

(3) Stl Representation: Stl 原模型层;

(4) Default Layer: 默认层（一般为空层，但不删除）。

在删除层之前一定要确保层中已经没有网格和有关的信息，防止出现误删除的现象。



4.1 Moldflow 用户界面

Moldflow 4.1 中文版和其他 CAE 软件类似，有着非常人性化的操作界面。

4.1.1 窗口分布及简要说明

Moldflow 4.1 中文版的操作界面主要由标题栏、菜单栏、工具栏、项目视窗、任务视窗、层视窗、工作视窗和状态栏八部分组成，如图 4-1 所示。

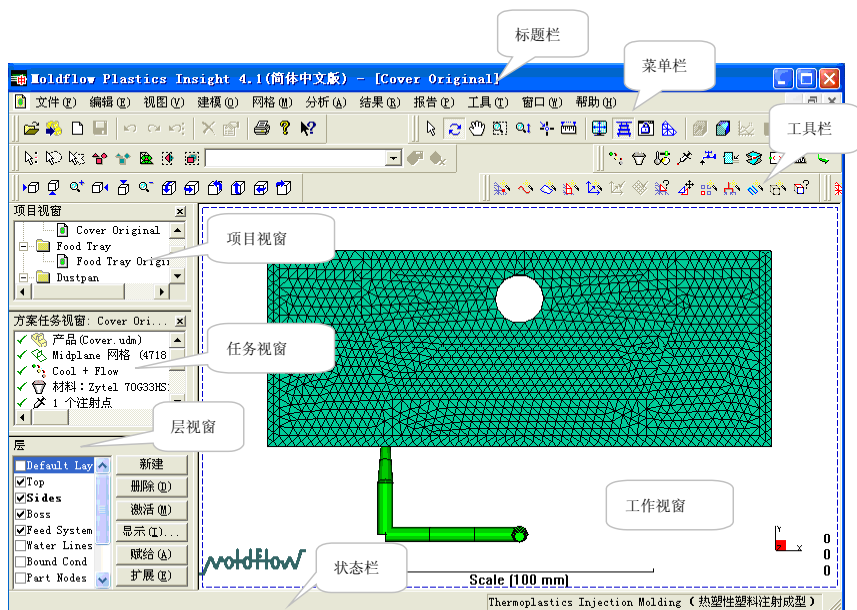


图 4-1 Moldflow 4.1 中文版操作界面

(1) 标题栏。标题栏位于软件整体视窗的最顶端，用于显示软件名称和版本号“Moldflow Plastics Insight 4.1 (简体中文版)”以及当前项目文件的名称（如 Cover Original）。

(2) 菜单栏。Moldflow 4.1 中文版的菜单栏主要包括文件、编辑、视图、建模、网格、分析、结果、报告、工具、窗口和帮助等菜单项。

(3) 工具栏。和其他软件一样，通过 Moldflow 4.1 中文版的工具栏，可以便捷地实现几乎所有的菜单命令。当然该软件也提供了工具栏的定制等功能，可以满足不同层次和工作目的的操作。

(4) 项目视窗。项目视窗显示当前所打开的项目及其包括的所有任务（如果任务众多，



可以通过视窗右侧的滚动条查看), 大大方便了用户在同一项目的不同任务之间进行切换和管理。通过项目视窗我们既可以查看当前打开的项目, 还可以组织该项目下属的所有子项目以及每个子项目下属的所有任务, 类似于 Windows 环境下的文件夹查看。

(5) 任务视窗。任务视窗集中了产品名称、网格类型、分析序列、材料选择、浇注位置选择、成型条件设置等选项。对于一个初学者来讲, 一旦把这些选项都操作完 (所有选项前面都打钩), 就基本完成分析任务的准备工作, 软件加亮显示 “立即分析!”, 就基本可以进行模拟分析了。而且这些任务选项基本不存在顺序, 既可以先确定分析序列又可以先进行材料选择、浇注位置选择或成型条件设置。

(6) 层视窗。层视窗会显示默认层和为方便操作而创建的所有层, 既可以随意创建和删除默认层以外的所有层, 也可以打开和关闭上述显示层。层视窗便于管理窗口的元素对象和操作对象。

(7) 工作视窗。工作视窗是主要的工作区, 将显示所有模型元素, 对模型所作的任何操作都会在该窗口即时的反映。

(8) 状态栏。状态栏用于显示当前操作进程的工作状态。

4.1.2 菜单栏和工具栏

1. 菜单栏

Moldflow 4.1 中文版的菜单栏主要包括文件、编辑、视图、建模、网格、分析、结果、报告、工具、窗口和帮助等菜单项, 现就菜单栏中主要菜单命令进行介绍。

(1) 文件 (F): 可以执行文件的新建、打开、保存、项目组织、打印、参数设置等众多命令。

(2) 编辑 (E): 可以执行撤销、重做、自由选择、保存图片、保存动画、赋予属性和移除未使用属性等命令。

(3) 视图 (V): 包括工具栏定制和状态栏、项目视窗、层视窗等的开关, 另外提供锁定和解锁视图等命令。

(4) 建模 (O): 可以执行创建节点、曲线、面 (区域)、模具镶块、坐标系, 对各元素的复制、移动、旋转、镜像, 以及浇注、冷却系统创建等操作。

(5) 网格 (M): 可以执行网格生成、各种网格缺陷诊断、网格修复、柱体单元的创建等命令。

(6) 分析 (A): 提供分析次序选择、材料选择、成型工艺参数设置、进胶点和冷却水入口设定等命令。

(7) 结果 (R): 可以执行新结果创建、绘制属性 (结果的个性设置)、结果查询、结果的备注和解释、翘曲查看工具、不同格式的结果保存等命令。

(8) 报告 (P): 可以执行分析结果报告自动生成, 给报告添加封面、图片、动画、文字等个性化操作以及对现有报告的编辑。

(9) 工具 (T): 可以进行个人数据库的创建和编辑、材料数据库的资料添加和编辑、宏的录制和编辑等命令。

(10) 窗口 (W): 可以进行新窗口创建、分析结果显示窗口的重叠、分割、多窗口显示等命令。

(11) 帮助 (H): 可以执行帮助文件查看、登录 Moldflow 网站、快捷键查询、分析过程





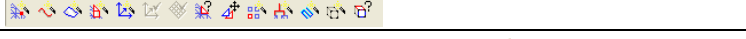




中的警告和错误解释查询等命令。

2. 工具栏

工具栏几乎可以提供所有菜单栏命令的快捷方式，另外还可以通过“自定义工具栏”对工具栏进行编辑、添加和删除，使用这些工具栏命令可以便捷地完成多项操作。常用工具条如表 4-1 示。

表 4-1 Moldflow 4.1 常用工具条

标准工具	
视图工具	
分析工具	
网格处理工具	
建模工具	
选择工具	
视角、查看工具	

4.2 菜单功能简介

4.2.1 文件操作

文件操作菜单可以执行文件的新建、打开、保存、项目组织、打印设置、参数设置等众多命令。

- 新建项目：用于新的分析项目的创建。
- 打开项目：用于已有分析项目的打开。
- 关闭项目：用于已打开分析项目的关闭。
- 新建：提供新方案、报告和文件夹的创建。
- 关闭：用于现行操作任务的关闭。
- 保存方案：用于现行操作方案的保存。
- 方案另存为：用于现行操作方案的备份。
- 导入：用于新模型的导入。
- 导出：用于现行操作方案、项目以*.zip 格式的备份。
- 添加：用于在现行任务下增加新的模型。
- 项目组织：用于项目的组织管理。
- 精简项目文件：用于清除所有的中间文件和分析过程中的临时文件。
- 打印设置：用于打印设备和格式的设置。
- 参数设置：用于软件的一些默认设置的修改和个性化设置，各项内容介绍如下。

(1) 一般设置（图 4-2）包括单位设置（英制、公制）、自动保存时间间隔设置、图像显示设置、建模面设置（栅格尺寸、自动捕捉开关、平面尺寸）、项目目录设置、常用材料设置等选项。

(2) 鼠标设置（图 4-3）提供操作过程中鼠标中键、右键结合“Shift”、“Ctrl”和“Alt”键所能完成功能的个人喜好设置。通过鼠标操作个性化设置，可以提高操作者的操作速度。

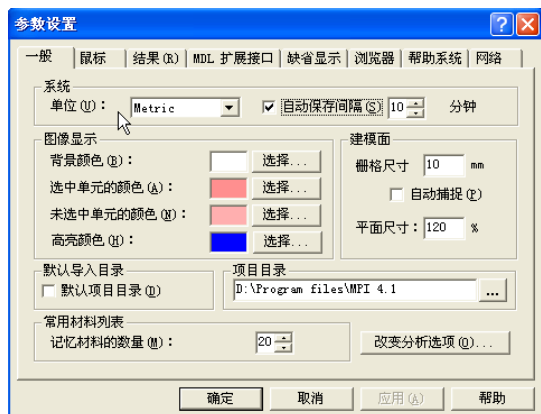


图 4-2 “参数设置”对话框（一般设置）

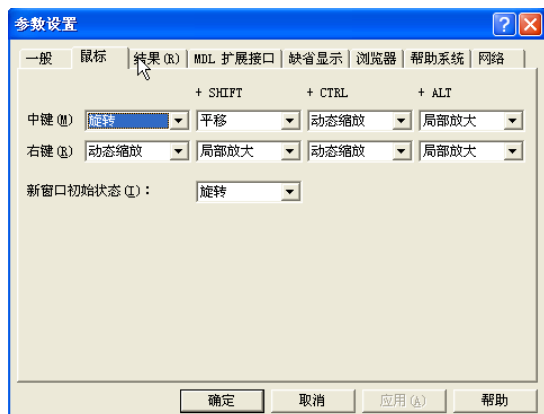


图 4-3 “参数设置”对话框（鼠标设置）

(3) “结果”设置（图 4-4）提供对分析结果的排序和增减以及内存的优化。由于各种分析的要求不同，操作者对各种结果的关注程度也会不同。通过这种设置，操作者就可以方便地把自己不需要的结果删除（不进行该结果分析）和按照自己的关注程度对显示的结果进行排序。这样不仅可以突出重点，还可以提高计算机的分析计算速度。

(4) “MDL (Moldflow Design Link) 扩展接口”设置是 Moldflow 公司的一个文件格式转换模块，它通常以外挂的形式挂在 Moldflow 软件里，可以实现 STP、Prt 和 Parasolid 格式文件的转换，以便把上述格式文件成功导入 Moldflow 软件中，完成这些格式模型的导入。

(5) “缺省显示”设置（图 4-5）提供三角形单元、柱体元素、四面体网格（3D 模型）、节点、CAD 面、STL 平面以及曲线等元素的显示模式设置。每一个选项都提供了几个显示模式供操作者选择。

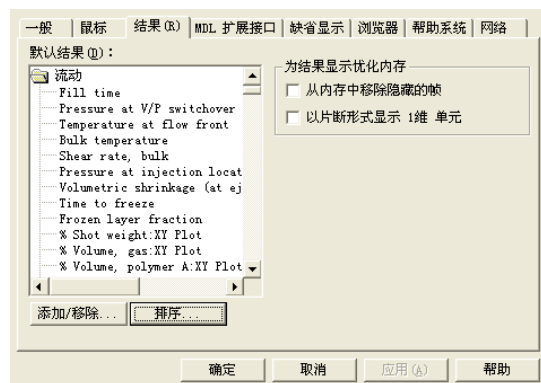


图 4-4 “结果”选项卡

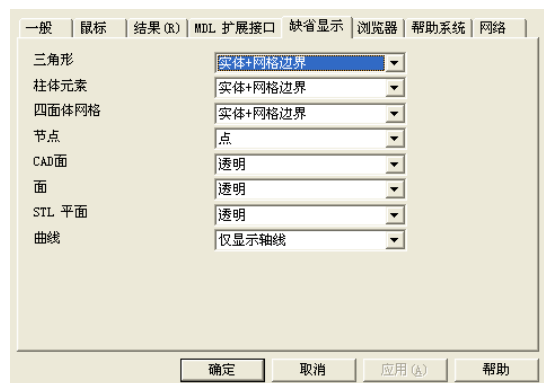


图 4-5 “缺省显示”选项卡

(6) 浏览器设置项提供旋转因子、缩放因子、平移因子改变量的设置和浏览渲染效果的设置。

(7) 帮助系统设置项提供帮助浏览器的选择和帮助提示的模式。

(8) 网络设置项提供联系 Moldflow 用户服务中心通道的选择、日志文件和动画的上载和自动更新。为了提高软件的运算速度和稳定性，编者建议操作者可以不要上载任何文件，自动更新也可以关闭。

4.2.2 编辑

“编辑 (E)”菜单可以执行撤销、重做、自由选择、保存图片、保存动画、赋新属性和移除未使用属性等命令。

(1) 撤销：返回上一操作状态。

(2) 重做：恢复撤销的内容。

(3) 自由选择：附加条件的对元素进行选择，可以通过同一属性、同一层或以各种图形方式进行选择。

(4) 保存图片：复制图像到粘贴板和直接将图片保存为*.BMP、*.JPG 等多种图像格式文件。

(5) 保存动画：将分析结果里的动画保存为*.GIF 或*.AVI 格式文件。

(6) 属性：查看所有元素的属性，可以通过“赋新属性”命令对被选元素进行属性修改。如图 4-6 所示。

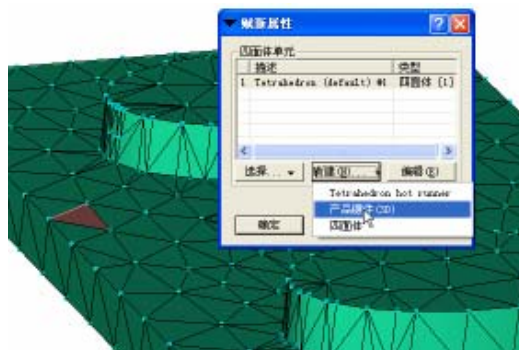


图 4-6 利用“赋新属性”命令修改元素的属性

4.2.3 视图

“视图 (V)”菜单包括工具栏定制和状态栏、项目视窗、层视窗等的开关，另外提供锁定和解锁视图等命令。

(1) 工具栏：利用该命令可以对工具栏进行定制，另外还可以通过“自定义工具栏”命令对工具栏进行编辑、添加和删除，使用这些工具栏命令可以便捷地完成多项操作。

执行“视图→工具栏→自定义工具栏”命令，弹出“自定义”对话框，选择“命令”项，出现各种命令快捷方式的图标，鼠标左键单击选中任一个图标不放，然后把它拖放到工具栏区，即可创建该命令的快捷方式 (图 4-7)。

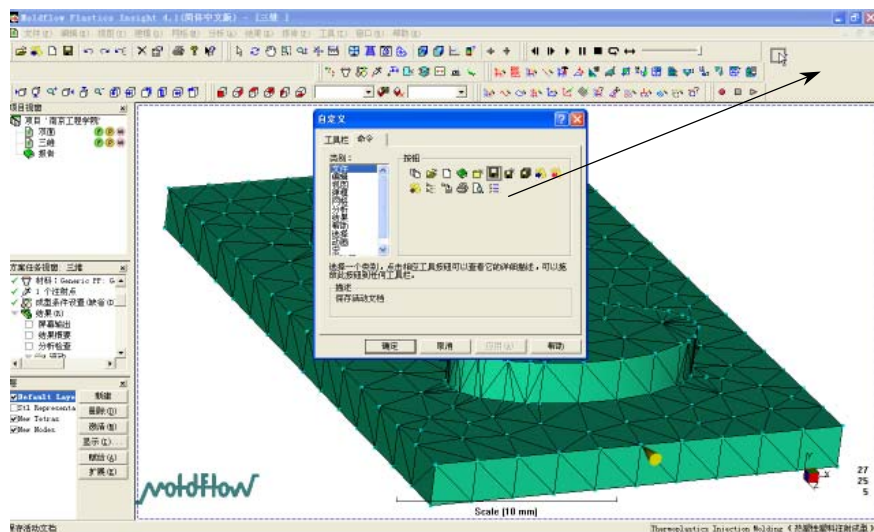


图 4-7 利用鼠标拖动创建命令的快捷方式



(2) 状态栏：实现状态栏的打开和关闭操作。

(3) 项目视窗、方案任务视窗和层：分别实现项目视窗、方案任务视窗和层视窗的打开和关闭操作。

(4) 显示模型：实现工作视窗中的模型显示的开、关。

(5) 同步所有视窗和取消窗口同步：为了方便对分析结果的对比，可以把视窗进行分割，分割以后的各个视窗可以分别显示不同内容。如果选择“同步所有视窗”，即锁定所有视窗（在每个视窗的左上角出现锁定标志），此时在任一视窗内的查看动作都会同步在其他视窗实现相同的操作，如图 4-8 所示。选择“取消窗口同步”可取消锁定（每个视窗左上角的锁定标志消失）。

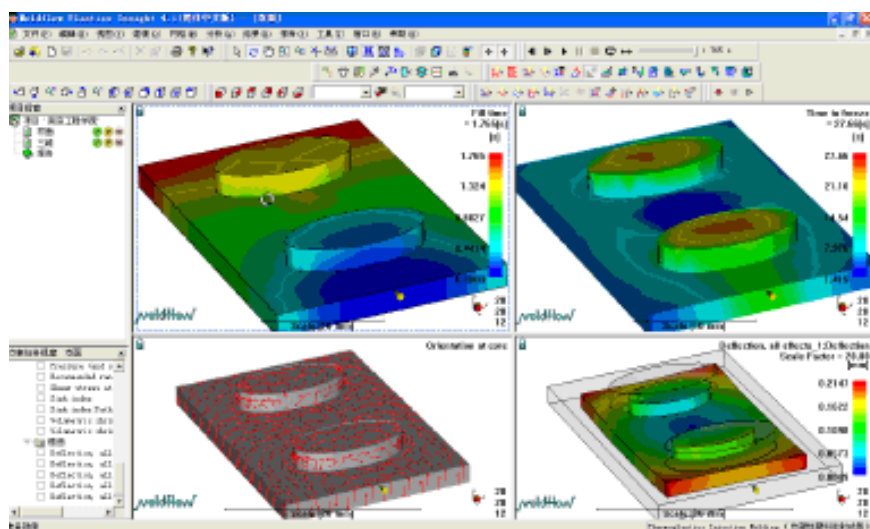


图 4-8 利用“同步所有视窗”实现对多视窗的锁定

4.2.4 建模

建模菜单包括创建节点、曲线、面（区域）、模具镶块、坐标系，对各元素的复制、移动、旋转、镜像，以及浇注和冷却系统创建等操作命令。

(1) 创建节点：提供以坐标系（三点坐标）、中间点、分割、偏移和相交的方式创建节点元素。

(2) 创建曲线：提供以两点坐标方式创建直线、以三点坐标方式创建圆弧或圆、以多点坐标方式创建多义线、将两条独立曲线连接、将两条相交曲线在交点打断等命令。

(3) 创建面：提供由边界/点/线建面、以延伸方式建面、以边界或点的方式建孔以及区域的创建命令。

(4) 创建镶块：用于模具镶块的创建。

(5) 移动复制：提供以移动、旋转、缩放或镜像现有元素创建新元素的命令。

(6) 查找单元：通过单元编号的输入进行单元的精确查找。

(7) 多模腔复制向导：通过型腔数量、行/列数、行/列间距进行快速的多模腔复制。

(8) 浇注和冷却系统创建：以对话框的形式，通过各个参数的确定来实现浇注系统和冷却系统的建模。



(9) 模具表面向导：用于在模腔外面创建一个立方体的模具表面。

(10) 检查面的连接性：用于检查面、域是否存在自由边和交叉边，以提高分析的可操作性和准确率。

4.2.5 网格

可以执行生成网格、各种网格缺陷诊断、网格修复、柱体单元的创建等命令。

(1) 生成网格：当建模结束后，利用此命令可快速划分三角形（中面/双面模型）或四面体（3D 模型）网格，当然也包括浇注系统和冷却系统对应的柱体网格。

(2) 定义网格密度：用于定义全部或局部网格密度。

(3) 创建三角形网格：用于对网格面进行修补时的局部创建。

(4) 创建柱体网格：用于对流道、浇口和水道等管道进行修补。

(5) 网格工具：提供用于修改不良网格状态的多种工具。

(6) 调整所有网格方向：用于网格自动定向。

(7) 纵横比：用于显示和查看所有网格的纵横比。

(8) 重叠/交叉网格：用于显示和查看所有网格的重叠和交叉状态。

(9) 方向：用于显示和查看所有网格的取向状态。

(10) 连通性：用于显示和查看所有网格的连通性。

(11) 出现次数：在一模多腔状态下，可以通过规定出现次数来实现降低网格数量、便于计算的目的。

(12) 网格统计：用于统计和查看整体网格信息。某零件划分网格后的网格质量统计如图 4-9 所示，由“网格诊断”对话框可以清晰地查看到实体数量、边及单元配向、网格交叉的详细情况、纵横比和匹配率等综合信息，从而判断出该模型的网格质量。

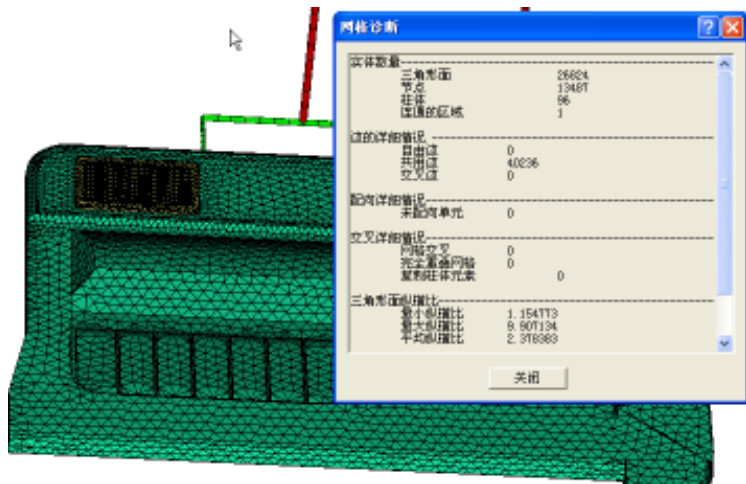


图 4-9 利用“网格统计”查看网格信息

4.2.6 分析

提供分析次序选择、材料选择、成型工艺参数设置、进胶点和冷却液入口设定等命令。

(1) 设定成型条件：选择 Moldflow 4.1 支持的成型模式，包括热塑性塑料的注塑成型、



(微) 发泡成型、反应注塑成型、RTM 或 SRIM、芯片或覆晶封装等多种模式。Moldflow 4.1 版本又新增了对气辅、传递、共注等多种成型方式的支持。

(2) 设定分析序列：支持对充填、流动、冷却、翘曲以及相关组合序列的选择，每种分析序列都有各自的分析目的，操作者可以根据自己的目的合理地选择分析序列。

(3) 选择材料：可以通过此命令从 Moldflow 4.1 自带材料库中选择不同的成型物料。另外，材料库支持二次开发，由于 Moldflow 是国外开发的软件，许多常用的国产物料没有入库，可以自己通过二次开发添加常用的物料性能参数，丰富材料库。

(4) 成型条件设置：成型过程中的工艺参数、设备参数、物料、模具材料、解算参数等参数值可通过该命令以对话框的形式确定，为模拟计算提供原始数据。

(5) 设定注射位置：用于确定进胶点。

(6) 设定冷却液入口：冷却管道建立以后，该命令用于确定冷却液的流动方向和流程，即从哪个口进又从哪个口出。

(7) 作业管理器：用于组织多个任务的分析次序，可以通过各任务优先级的设定控制分析的序列。作业管理器可以方便地实现多任务的计算机自动分析，例如，为了充分利用时间，可以在下班时把多个任务组织起来，设定好优先级，软件就会按照优先级别对各任务逐个分析，等到再上班时就可以拿到分析结果了。

4.2.7 结果

可以执行新结果创建、绘制属性（结果的个性设置）、结果查询、结果备注和解释、查看翘曲工具、不同格式的结果保存等命令。

(1) 新结果创建：以非默认格式创建新结果。

(2) 绘制属性：通过修改新建视图的属性，可以创建更方便表达和查看分析结果。如图 4-10 所示，对于产品充填时间（Fill Time）的查看，通过“绘制属性”将显示方式改为等值线（数量 30）方式，更直观地查看充填时间的相关信息。

(3) 测量结果：通过测量结果查询可以查看任一节点处的结果参数。如图 4-10 所示，测量某节点处的充填时间为 0.7137s。

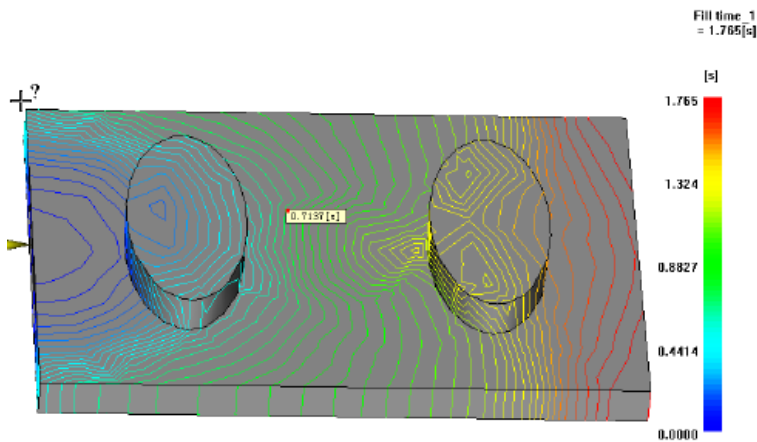


图 4-10 利用“等值线”和“测量结果”查看充填时间相关信息

(4) 结果备注：给结果创建注释。例如，备注可以是方便用户查看结果（报告）的简明

的结果分析和解释。

- (5) 查看翘曲工具：以设置锚点和位移数值的方式查看翘曲结果。
- (6) 保存结果数据：支持将结果数据以*.XML 和*.Patran 格式保存。
- (7) 导出翘曲网格和几何体：将翘曲网格和几何体以另存方式单独导出备份。

4.2.8 报告

可以执行分析结果报告自动生成，给报告添加封面、图片、动画、文字等个性化操作以及对现有报告的编辑。

- (1) 报告建立向导：以对话框方式引导操作者创建一个最基本的报告。
- (2) 为报告添加元素：支持为报告添加封面、图片、动画、文字等操作，用以创建一个个性化的报告。
- (3) 编辑：允许操作者对已生成报告进行编辑、修改。

4.2.9 工具

可以进行个人数据库的创建和编辑、材料数据库的资料添加和编辑、宏的录制和执行等命令。

- (1) 创建、编辑个人数据库：完成分析以后，Moldflow 记录了大量的参数数据，可以通过创建、编辑个人数据库建立适合自己的数据库，以备后续分析查询和调用。
- (2) 导入旧的 Moldflow 或 C-mold 材料：可以通过此命令将旧的 Moldflow 版本或 Moldflow 公司合并 C-mold 之前的 C-mold 软件自带材料库中的成型物料参数导入到 Moldflow 4.1 版本中，以丰富材料数据库。另外，前面我们介绍过，材料库支持二次开发，由于 Moldflow 是国外开发的软件，许多我们常用的国产物料没有入库，操作者还可以自己通过二次开发添加常用的物料性能参数。
- (3) 宏操作：支持宏的录制和执行。

4.2.10 窗口和帮助

“窗口”菜单命令可以进行新窗口创建，分析结果显示窗口的重叠、分割、多窗口显示等命令；“帮助”菜单命令可以执行帮助文件查看、登录 Moldflow 网站、快捷键查询、分析过程中的警告和错误解释查询等命令。

- (1) 窗口层叠和重排：“层叠”命令可以将多个分析结果显示窗口多层重叠，“重排”命令可执行重叠次序的更改。
- (2) 窗口分割：支持多窗口显示，其中每个窗口可以显示不同的内容，如图 4-11 所示。
- (3) 查找帮助：在任何时候单击“查找帮助”或按【F1】键均可打开帮助栏。对于初学者来说，学会使用帮助意义重大，因为 Moldflow 的帮助功能强大，几乎所有在基本操作或结果分析工程中碰到的疑问都可以从“帮助”中寻求帮助。但是几乎所有版本的 Moldflow 软件的“帮助”都是英文版的，给部分操作者带来一定麻烦。
- (4) 快捷键：支持快捷键查询。
- (5) Moldflow 网站：支持和 Moldflow 官方网站的在线联系，登录主页或客户中心可提供相应技术支持和软件的在线更新。当然，最基本的前提是要使用正版软件。



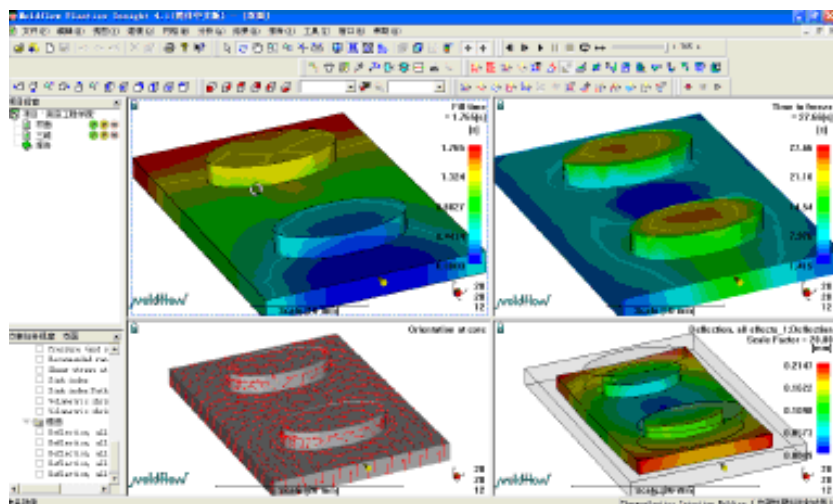


图 4-11 利用“分割”实现多视窗显示

4.3 基本操作

在使用 Moldflow 软件进行模拟分析时，养成一个好的操作习惯会受益匪浅。现就以分析项目管理和鼠标操作设定两方面介绍一下关于良好操作习惯的培养。


4.3.1 分析项目管理



Moldflow 4.1 中文版里面关于项目管理的内容或命令主要有“分析”命令条下的“作业管理器”和“文件”命令条下的“组织项目”。

模拟分析的设计目的往往有多个，例如，最佳浇口位置、充填、流动、冷却、翘曲等；甚至有时分析的目的根本无法明确，例如在开模前的优化分析，基本不清楚会出现哪些缺陷和问题。另外，某部件由多个零件装配而成，对这些零件的模拟和优化通常习惯放在一起，以方便查看。所以，对于一个分析项目我们常常要创建多个任务。当任务数量很多时，对它们的组织和管理尤为重要。

(1) 作业管理器

用于组织多个任务的分析次序，可以通过各任务优先级的设定控制分析的序列。前面已经简单介绍过，对于操作者来说，作业管理器可以方便地实现多任务的计算机自动分析。例如，为了充分利用时间，可以在下班时把多个任务组织起来，设定好优先级，软件就会按照优先级别对各任务逐个分析，等到再上班时就可以拿到分析结果了，对于分析任务管理非常方便。如图 4-12 所示，把三个任务提交给“作业管理器”并设定好优先级，计算机就会自动按照优先级的高低顺序进行模拟分析。

在“作业管理器 (J)”对话框里，图标用于添加服务器，实现多台计算机同时分析。单击该图标弹出如图 4-13 所示的对话框，包括服务器地址（可以通过局域网或广域网连接）、优先级、开始时间、临时目录路径等信息的输入设定。

图标用于删除已添加的计算机（服务器）。如果已经添加计算机，单击图标会弹出如图 4-14 所示的对话框，单击“确定”按钮即可删除添加的计算机。



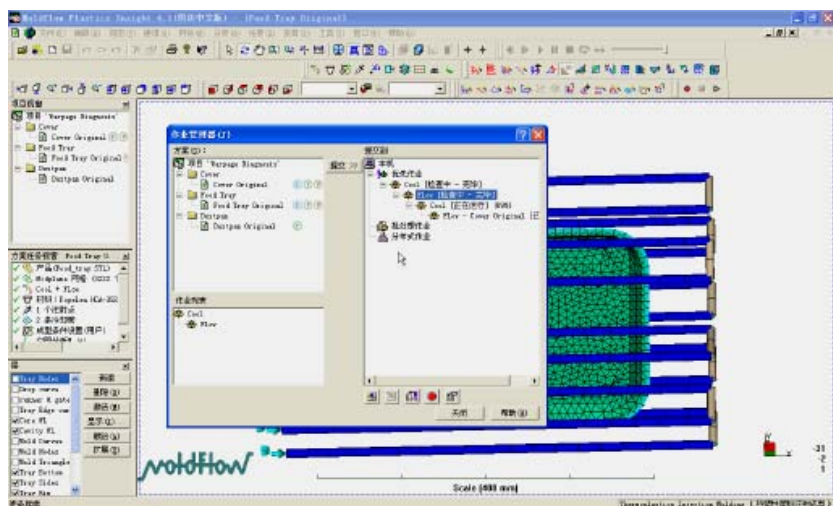


图 4-12 利用“作业管理器”实现多任务管理

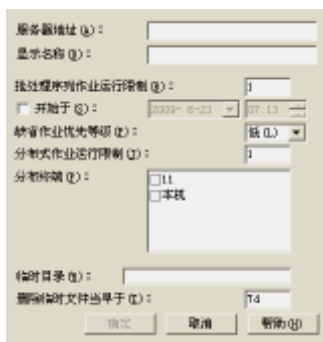


图 4-13 利用添加服务器实现多计算机分析

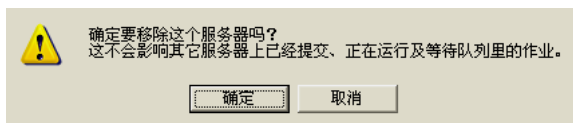




图 4-14 删除已添加的服务器

图标用于运行/停止批处理作业。

图标用于删除已提交的任务。

图标用于查看任务属性。

(2) 组织项目 (Z)

使用此命令可将所有项目按所选类别重新组织到新的文件夹中，但需注意，已存在的文件夹在重组过程中可能会被修改。

可选的类别主要有 CAD 模型、注射位置、材料和共享结果等，选中左框中的类别单击“添加”按钮即可完成添加，如图 4-15 所示，单击“确定”按钮，项目就会按照给定的类别重新组织。

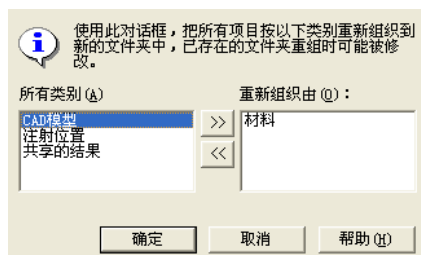


图 4-15 “组织项目”对话框

4.3.2 鼠标操作

执行“文件→参数设置→鼠标”命令，可以对鼠标中键、右键结合【Shift】、【Ctrl】和【Alt】键所能完成功能的个人喜好设置。通过鼠标操作个性化设置，可以提高操作速度，参见图 4-3 所示。

结合自己喜好和常用操作，合理地设定鼠标各键的操作效果对提高操作者的操作速度意义重大。特别是在网格修改过程中，会频繁用到鼠标的基本操作。



在 Moldflow 4.1 软件中，基础建模工具主要有节点创建工具、曲线创建工具、面（区域）创建工具、模具镶块、坐标系，对各元素的复制、移动、旋转、镜像和浇注、冷却系统创建等操作命令。其中，节点和曲线的创建将会在流道、浇口、水道创建过程中频繁出现；移动和复制工具会在多型腔创建以及节点、曲线等元素的移动、复制、旋转、镜像等操作中使用。熟练掌握基础建模工具将为后续的进一步学习打下良好的基础。

5.1 节点的创建

Moldflow 4.1 提供了五种节点创建方法。

(1) 坐标系：以输入坐标（x、y、z）绝对坐标值的方法创建节点。三个坐标值之间可以用空格或逗号隔开，例如，（0 0 0）或（0，0，0），如图 5-1 所示，具体操作步骤如下。

①执行“建模→创建节点→坐标系”命令，在坐标栏里输入具体坐标值。

②单击“应用”按钮，完成创建。

(2) 中间点：在已有的两个节点中间创建一个或多个节点，创建的新节点将旧节点之间距离平分，即各节点等距分布，如图 5-2 所示，操作步骤如下。

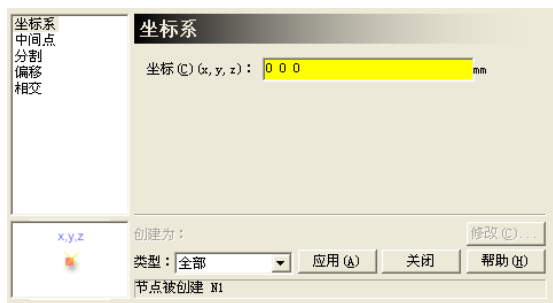


图 5-1 利用坐标系创建节点

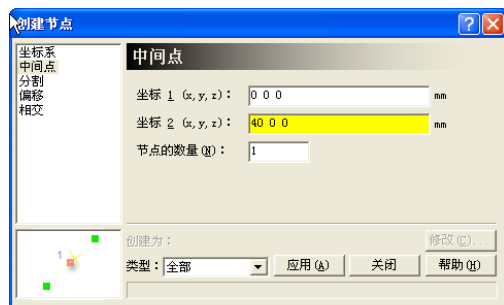


图 5-2 利用中间点创建节点

①执行“建模→创建节点→中间点”命令，依次选择已有的两点（每选一点其坐标值都会在对应的“坐标”文本框中显示），设定“节点的数量”值。

②单击“应用”按钮，完成创建。

(3) 分割：选择一条曲线，通过该命令可以在曲线上分割出一个或多个节点，如图 5-3 所示，具体操作步骤如下。

①执行“建模→创建节点→分割”命令，选取已有的曲线（曲线代号“C1”会自动在选择框里显示），设定“节点的数量”为 4，选中“在曲线末端创建节点”复选框。

②单击“应用”按钮，完成创建。由图 5-3 的结果可以看出，四个节点将曲线平分。



(4) 偏移：通过输入坐标值或者由一个已有节点偏移出一个或多个新节点，如图 5-4 所示。具体操作步骤如下。

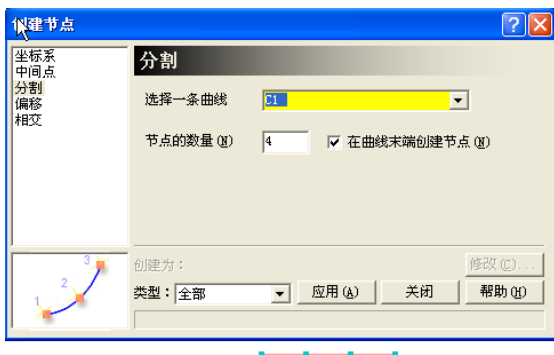


图 5-3 利用分割曲线创建节点

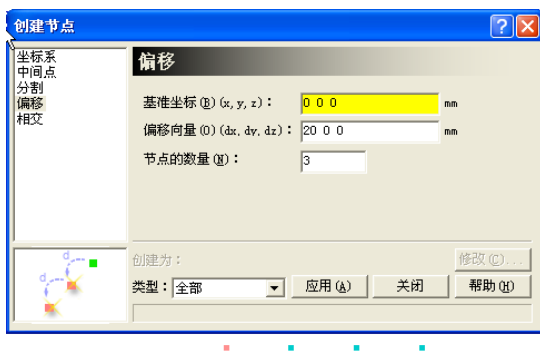


图 5-4 利用偏移创建节点

①执行“建模→创建节点→偏移”命令，选取已有的节点（所选节点坐标值会自动在选择框里显示）或在“基准坐标”文本框中直接输入坐标值，设定“节点的数量”为 3。

②单击“应用”按钮，完成创建。由图 5-4 的结果可以看出，偏移出三个新节点，是等距分布（间距 20）的。

(5) 相交：在两条相交曲线段的交点处创建新节点，如图 5-5 所示，具体操作步骤如下。

①执行“建模→创建节点→相交”命令，选取已有的两条相交曲线段（曲线代号“C1”、“C2”会自动在选择框里显示），这时交点坐标值在“交点坐标”框中显示。

②单击“应用”按钮，完成创建。

值得一提的是，在该命令中用于创建节点的两条曲线必须切实存在交点，因此，编者在前面提到的是“曲线段”而非“曲线”，这点从图 5-6 中可以看出。

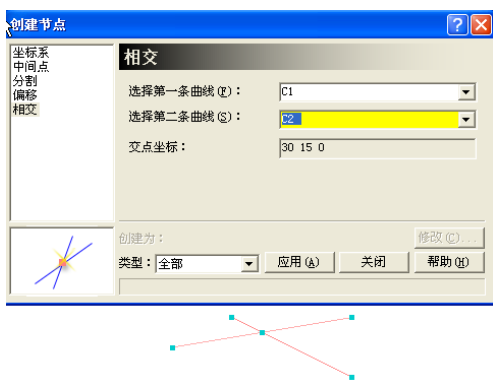


图 5-5 利用相交创建节点

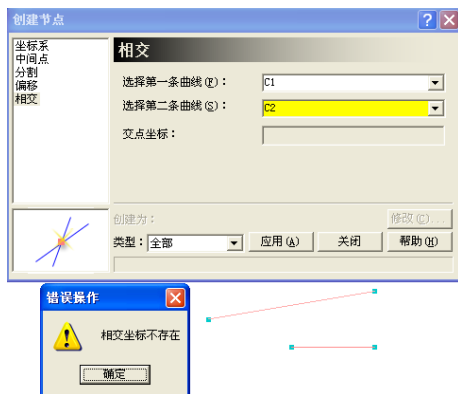


图 5-6 实际没有相交的曲线无法创建相交节点

5.2 线的创建

Moldflow 4.1 提供了 6 种曲线的创建方法。

(1) 直线：通过选取两个已存在的节点或输入节点坐标值来创建直线，如图 5-7 所示，具体操作步骤如下。



①执行“建模→创建曲线→直线”命令，选取已有的两个节点（节点坐标值会自动在选择框里显示）。

②单击“应用”按钮，完成创建。

另外，还可以通过输入两节点坐标值的方法创建直线，坐标值输入时可以是绝对坐标或相对坐标。利用绝对坐标创建，具体操作步骤如下。

①执行“建模→创建曲线→直线”命令，依次输入节点 1 和节点 2 的坐标值分别为“20，30，40”和“10，20，30”，选中“绝对”单选项。

②单击“应用”按钮，完成创建，如图 5-8 所示。

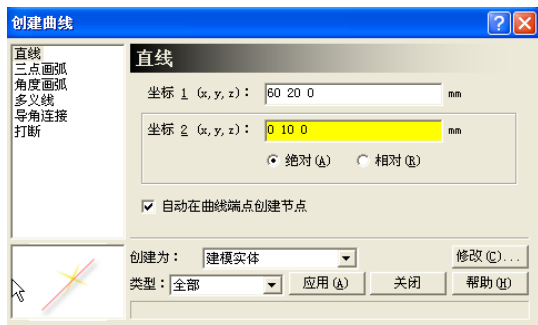


图 5-7 利用现有两节点创建直线

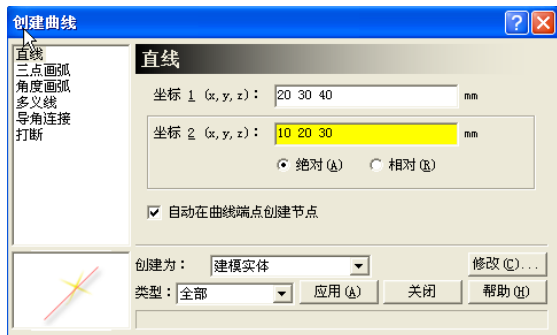


图 5-8 利用绝对坐标创建节点从而创建直线

利用相对坐标创建，具体操作步骤如下。

①执行“建模→创建曲线→直线”命令，依次输入节点 1 和节点 2 的坐标值分别为“20，30，40”和“10，20，30”，选中“相对”单选项。

②单击“应用”按钮，完成创建，如图 5-9 所示。

对比两条直线，我们不难发现，虽然两个节点的坐标输入值完全一样，但产生的直线却不同，原因就在于绝对坐标或相对坐标是有区别的。

(2) 三点画弧：由三个节点创建圆弧曲线或圆。创建圆弧的具体操作步骤如下。

①执行“建模→创建曲线→三点画弧”命令，选取已有的三个节点（节点坐标值会自动在选择框里显示）或直接输入三点坐标，选中“圆弧”和“自动在曲线端点创建节点”选项。

②单击“应用”按钮，完成创建，如图 5-10 所示。

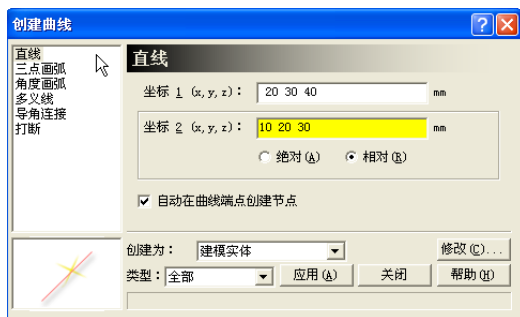


图 5-9 利用相对坐标创建节点从而创建直线

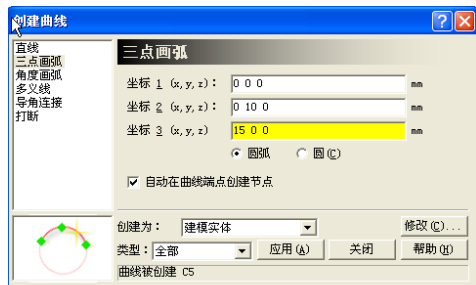


图 5-10 利用三点画弧



创建圆的具体操作步骤如下。

①执行“建模→创建曲线→三点画弧”命令，选取已有的三个节点（节点坐标值会自动在选择框里显示）或直接输入三点坐标，选中“圆”和“自动在曲线端点创建节点”选项。

②单击“应用”按钮，完成创建，如图 5-11 所示。

(3) 角度画弧：以某节点为圆心并赋予半径（圆心+半径）的方式创建圆弧，具体操作步骤如下。

①执行“建模→创建曲线→角度画弧”命令，选取已有的节点（节点坐标值会自动在选择框里显示“0 0 0”）或直接输入坐标值“0 0 0”作为圆心，定义半径为 5，定义始端和终端角度分别为“0”、“270”，选中“自动在曲线端点创建节点”复选框。

②单击“应用”按钮，完成创建，如图 5-12 所示。

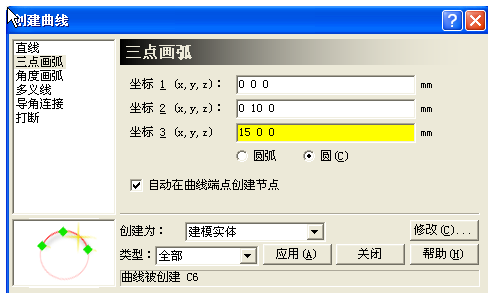


图 5-11 利用三点画圆

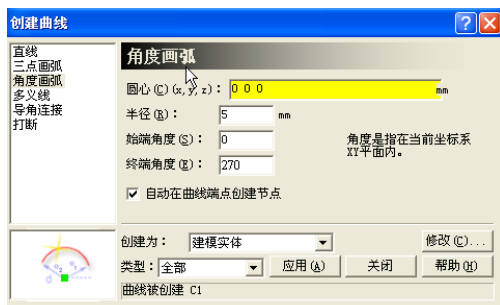


图 5-12 利用角度画弧

在以上操作中，如果定义始端和终端角度分别为“0”、“360”（默认），选中“自动在曲线端点创建节点”复选项，则生成圆，如图 5-13 所示。

(4) 多义线：用于创建弯曲变化的曲线，具体操作步骤如下。

①执行“建模→创建曲线→多义线”命令，选取已有的节点（节点坐标值会自动在选择框里显示“0 0 0”、“5 10 0”、“10 15 0”和“40 25 0”）或直接输入坐标值“0 0 0”、“5 10 0”、“10 15 0”和“40 25 0”，选中“自动在曲线端点创建节点”复选框。

②单击“应用”按钮，完成创建，如图 5-14 所示。

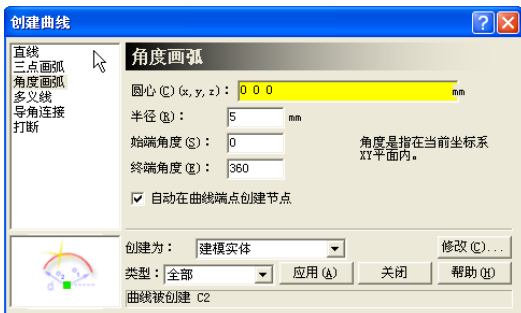


图 5-13 利用角度画圆

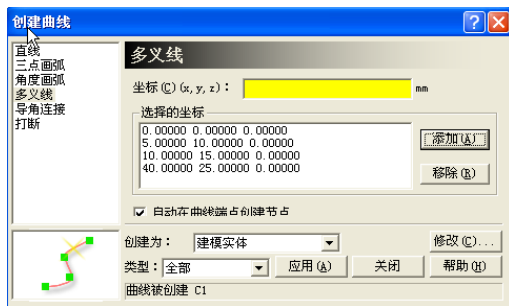


图 5-14 创建多义线



(5) 倒角连接：可以在两条手动创建的曲线间创建连接两条曲线的倒角，具体操作步骤如下。

①执行“建模→创建曲线→倒角连接”命令，选取已有两条曲线（曲线编号会自动在选择框里显示），确定“倒角系数”为1。

②单击“应用”按钮，完成创建，如图 5-15 所示。

(6) 打断：用于将手动创建的两条相交曲线在它们的交点处打断，具体操作步骤如下。

①执行“建模→创建曲线→打断”命令，选取已有两条曲线 C1、C2（曲线编号会自动在选择框里显示）。

②单击“应用”按钮，完成创建，结果是两条曲线被交点打断为四条曲线，如图 5-16 所示。

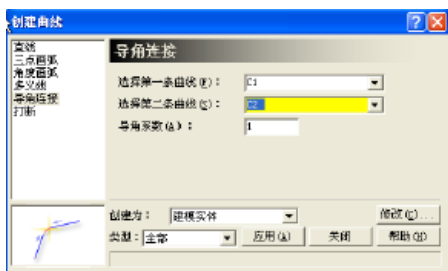


图 5-15 创建倒角连接

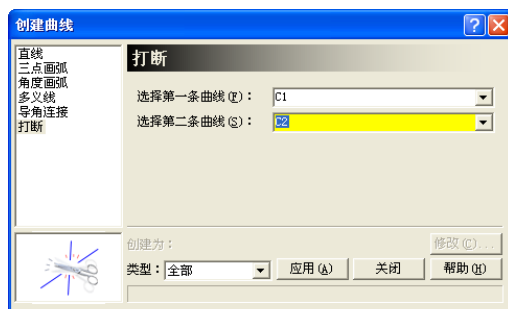


图 5-16 应用打断创建曲线

5.3 面（区域）的创建

Moldflow 4.1 提供了 6 种面创建方法。

(1) 边界建面：由边界曲线（所有边界曲线必须封闭）创建面，具体操作步骤如下。

①执行“建模→创建面→边界建面”命令，按住【Ctrl】键不放，依次选取已有且封闭的边界曲线 C1、C2、C3、C4（曲线编号会自动在选择框里显示）。

②单击“应用”按钮，完成创建，面的形状取决于曲线封闭的形状，如图 5-17 所示。

(2) 由点建面：依次选取现有的节点来创建面，具体操作步骤如下。

①执行“建模→创建面→由点建面”命令，按住【Ctrl】键不放，依次选取已有节点 N1、N2、N3、N4（对应节点编号会自动在选择框里显示），在选取节点过程中，依次显示连接节点的线，“由点建面”和“边界建面”实质是一样的。

②单击“应用”按钮，完成创建，面的形状取决于节点连接的曲线封闭的形状，如图 5-18 所示。

(3) 由线建面：选择同一平面的两条线，系统会自动将两线之间部分填充，生成面。

①执行“建模→创建面→由线建面”命令，选取已有的两条线 C1、C2（对应曲线编号会自动在选择框里显示）。



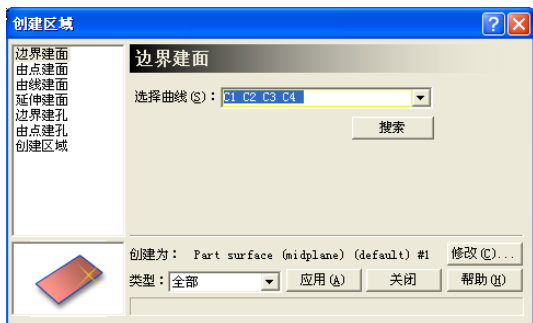


图 5-17 应用边界建面

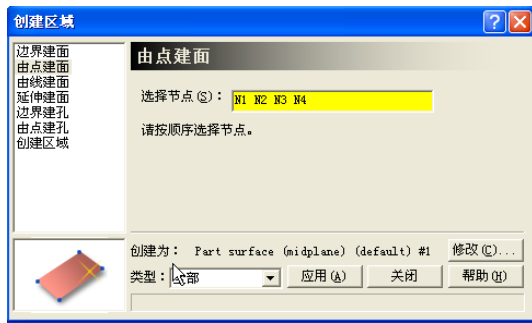


图 5-18 由点建面

②单击“应用”按钮，完成创建，面的形状取决于两条曲线的长度和位置关系，如图 5-19 所示。

(4) 延伸建面：选择一条曲线并输入延伸矢量值来创建面。

①执行“建模→创建面→延伸建面”命令，选取已有的线 C1（对应曲线编号会自动在选择框里显示），设定三个方向的延伸量，如“10 20 0”。

②单击“应用”按钮，完成创建，面的形状取决于曲线的长度、形状和延伸量，如图 5-20 所示。

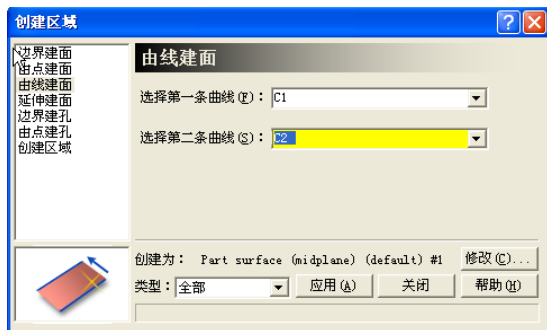


图 5-19 由线建面

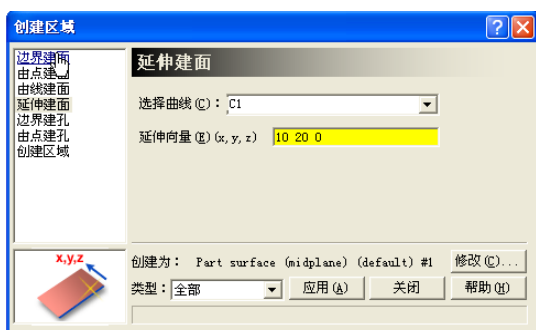


图 5-20 延伸建面

(5) 边界建孔：指在现有面上建孔。

①执行“建模→创建面→边界建孔”命令，选取已有的面 R1 和曲线 C6（对应面和曲线编号会自动在选择框里显示）。

②单击“应用”按钮，完成创建，孔的形状和尺寸取决于曲线围成的形状和尺寸，如图 5-21 所示。

(6) 由点建孔：选择需要建孔的面，然后依次选择面上的至少三个且不重合的节点，利用三个节点在面上建孔。

①执行“建模→创建面→边界建孔”命令，选取已有的面 R1 和三个节点 N1、N2、N3（对应面和节点编号会自动在选择框里显示）。

②单击“应用”按钮，完成创建，孔的形状和尺寸取决于节点围成的形状和尺寸，如



图 5-22 所示。



图 5-21 边界建孔（左图为建孔前，右图为建孔后） 图 5-22 由点建孔（左图为建孔前，右图为建孔后）

5.4 多模腔创建

在 Moldflow 4.1 中文版中，常用两种方法可以实现多模腔创建。

1. 利用多模腔复制向导

由于此操作简单，在此只作简要介绍。

(1) 在单型腔网格划分完成以后，单击“建模→多模腔复制向导”命令，弹出“模腔复制向导”对话框，设置模腔数量为 2，行数为 2，行间距为 100，单击“预览”按钮可大体查看设定结果。

(2) 单击“完成”按钮，实现多模腔复制，如图 5-23 所示。

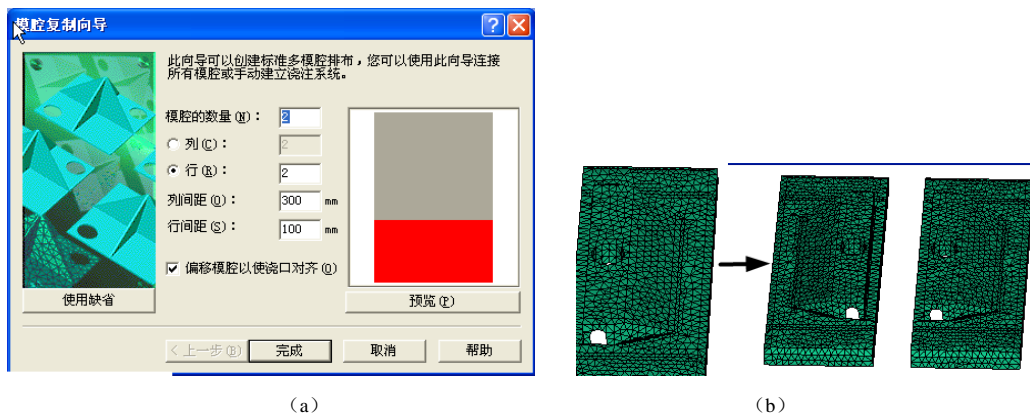


图 5-23 利用模腔复制向导建立多模腔

2. 手动创建

手动方式创建多模腔灵活多变，具有很强的普遍适用性。但是该方法对操作者的基本操作能力有一定要求，特别是对点、线、面的创建和移动、旋转、复制、镜像等操作要求熟练。结合两个例子，介绍移动、旋转、复制、镜像等操作。



(1) 矩形布排的多模腔手动创建

本例将某盖体原始模型划分网格并进行修复，如图 5-24 示。经过手动操作，创建出矩形布排的一模四腔模具布局，创建结果如图 5-25 所示。本例有多条操作思路，现就以下思路展开操作：创建镜像依据→镜像复制网格模型。

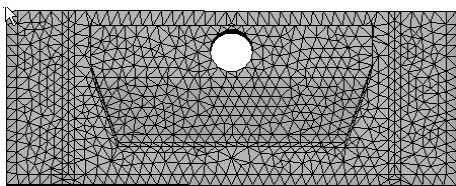


图 5-24 某盖体网格模型

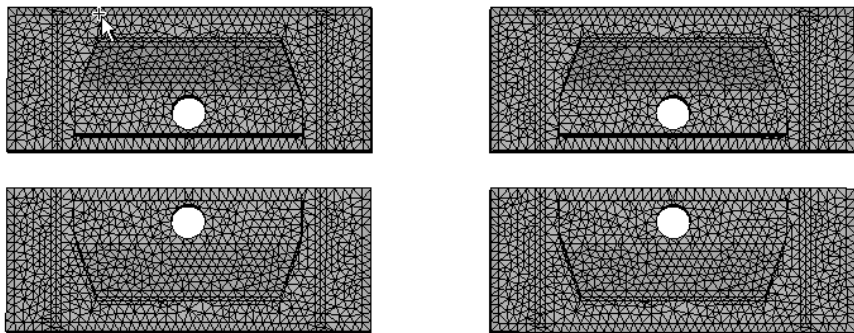



图 5-25 手动创建矩形布排的一模四腔模具布局

①将模型转换为前视图：单击图标，将模型转换为前视图，如图 5-26 所示。

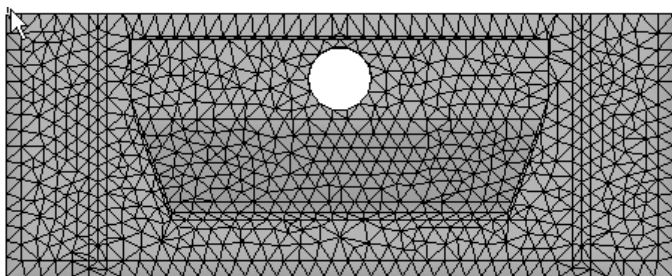


图 5-26 将模型转换为前视图

②创建镜像依据：执行“建模→创建节点”命令，弹出“创建节点”对话框，选中“中间点”，如图 5-27 所示，依次选择节点 A、B，创建出中间点 C。

执行“建模→创建节点”命令，弹出“创建节点”对话框，点选“偏移”，如图 5-28 所示，选择上步创建的中间点 C，“偏移向量”设定为“0 30 0”，即向 y 方向偏移 30mm，得到节点 D。将节点 C 删除。

③镜像复制网格模型：执行“建模→移动/拷贝”命令，弹出“移动/拷贝单元”对话框，选中“镜像”，在“类型”下拉列表中选“全部”，即原模型的所有元素，“镜像”下拉列表选中“xz 平面”，“参考基准点”选上一步创建的节点 D，选中“拷贝”，如图 5-29 所示，完成镜像复制。

④同理将节点 D 沿 x 正方向偏移 120mm，创建节点 E，然后以节点 E 为依据，以 yz 平面为镜像平面，以节点 E 为参考基准点，镜像出另外两个模腔，如图 5-30 所示。至此，矩形布排的多模腔手动创建完毕。



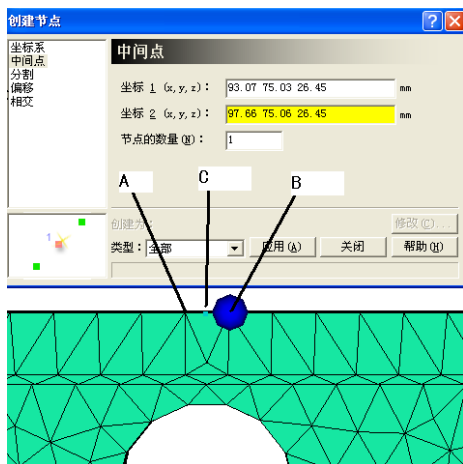


图 5-27 创建 x 方向中间点

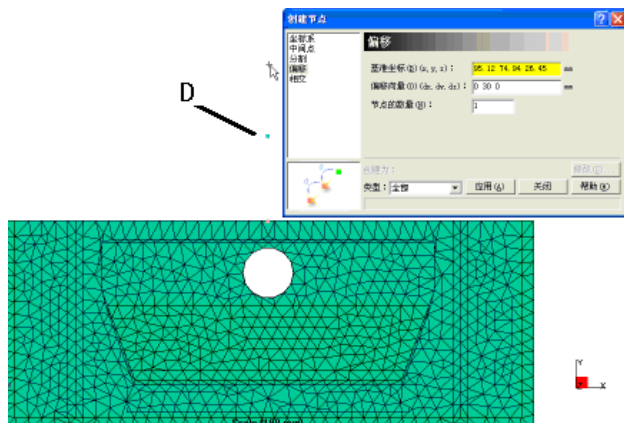
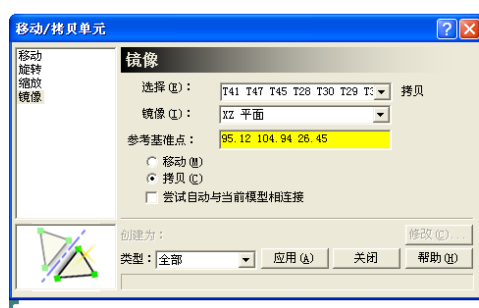
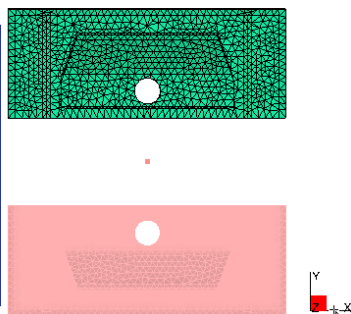


图 5-28 偏移创建节点

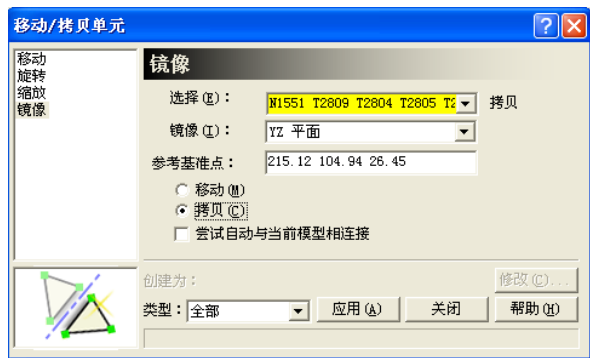


(a)

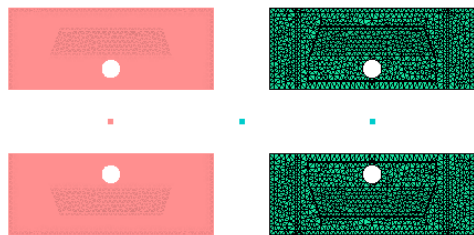


(b)

图 5-29 镜像复制网格模型



(a)




(b)

图 5-30 镜像复制另外两个模腔

(2) 圆形布排的多模腔手动创建

本例将某按钮原始模型划分网格并进行修复,如图 5-31 示。经过手动操作,创建出圆形布排的一模六腔模具布局,创建结果如图 5-32 所示。本例思路:创建旋转中心点→旋转复制网格模型。

①将模型转换为前视图:单击图标,将模型转换为前视图,如图 5-33 示。



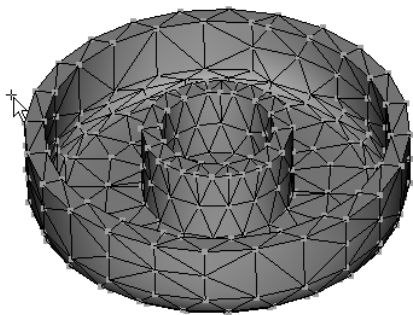


图 5-31 按钮网格模型

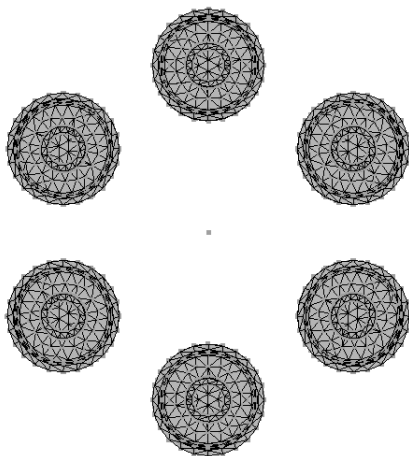


图 5-32 手动创建圆形布排的一模六腔模具布局

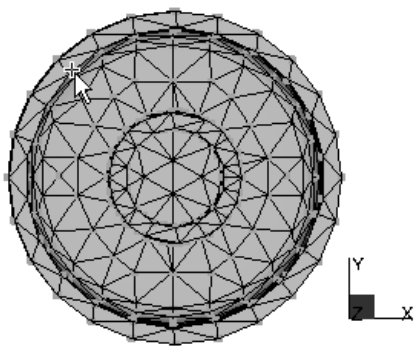


图 5-33 将模型转换为前视图

②创建旋转中心点：执行“建模→创建节点”命令，弹出“创建节点”对话框，选中“偏移”，如图 5-34 所示，选择节点 A，“偏移向量”设定为“0 20 0”，即向 y 方向偏移 20mm，得到节点 B。



图 5-34 偏移节点 A 得到节点 B 以作为旋转中心点

③旋转复制网格模型：执行“建模→移动/拷贝”命令，弹出“移动/拷贝单元”对话框，选中“旋转”，“类型”下拉列表中选“全部”，“旋转轴”选“z 轴”，“角度”设定为 60° ，“参考基准点”选上一步创建的节点 B，选中“拷贝”，设置拷贝的数量为“6”，如图 5-35 所示，完成镜像复制。至此，圆形布排的多模腔手动创建完毕。



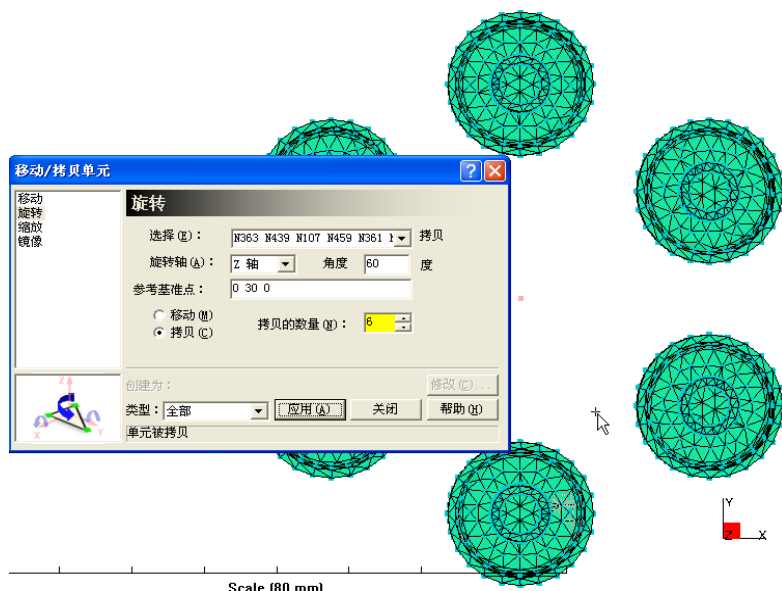


图 5-35 旋转复制模型

5.5 浇口创建

本节在介绍浇口创建命令、浇口属性设置、浇口曲线与柱体单元划分的基础上，重点结合几个操作实例，演示几个常用的典型浇口的创建方法。

5.5.1 浇口创建命令

Moldflow 4.1 中文版提供两种创建浇口的方法：一种是使用曲线命令；另一种是使用柱体单元创建命令。

1. 应用曲线创建命令来创建浇口

- (1) 执行“建模→创建曲线”命令，弹出“创建曲线”对话框，如图 5-36 所示。
- (2) 单击“修改”按钮，弹出“赋新属性”对话框，如图 5-37 示。

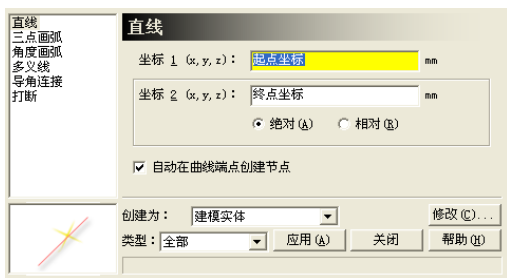


图 5-36 “创建曲线”对话框

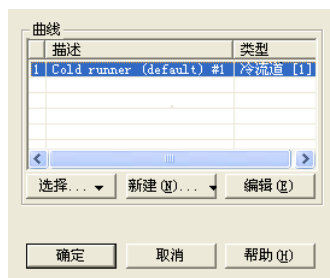


图 5-37 “赋新属性”对话框

(3) 单击“新建”按钮，在弹出的下拉式菜单中选择新属性。若创建冷浇口就单击“冷浇口”选项；若创建热浇口就单击“热浇口”选项，如图 5-38 所示。



图 5-38 选择新属性

2. 使用柱体单元创建命令来创建浇口

(1) 执行“网格→创建柱体网格”命令，弹出“创建柱体网格”对话框，如图 5-39 所示。

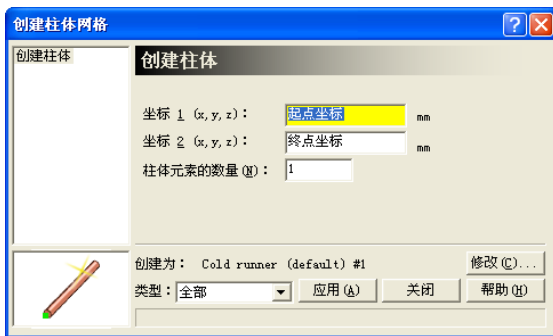


图 5-39 “创建柱体网格”对话框

(2) 单击“修改”按钮，弹出“赋新属性”对话框，如图 5-37 所示。

(3) 单击“新建”按钮，在弹出的下拉式菜单中选择新属性。若创建冷浇口就单击“冷浇口”选项；若创建热浇口就单击“热浇口”选项，如图 5-38 所示。

在创建规则形状浇口时，一般选用柱体单元创建命令来创建浇口；在创建弧形浇口（例如牛角式浇口）时，一般选用曲线创建命令来创建浇口。

5.5.2 浇口属性设置

浇口属性设置主要指浇口的截面形状和外形尺寸等参数设置，这样可以获得不同类型的浇口。

1. 冷浇口属性设置

在前面创建浇口时，单击“赋新属性”对话框中的“新建”按钮，在弹出的下拉菜单中选择“冷浇口”选项，弹出“冷浇口”属性设置对话框，如图 5-40 所示。

(1) 浇口属性

“截面形状是”下拉列表中有 6 个选项：圆形（默认）、梯形、U 形、半圆形、矩形和其他形状。其中以圆形、梯形和矩形最为常用。



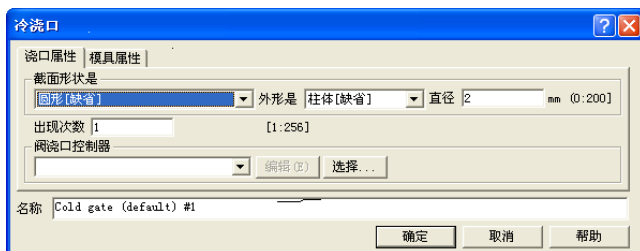


图 5-40 “冷浇口”属性设置对话框

“外形是”下拉列表中有三个选项：柱体（缺省）、锥体（由端部尺寸定）和锥体（由锥角定）。其中，若选择“锥体（由端部尺寸定）”和“锥体（由锥角定）”还会出现“编辑尺寸”选项，单击该选项，弹出“截面尺寸”对话框，操作者可以在此编辑截面尺寸以确定锥形浇口的外形尺寸。

“出现次数”主要用于对称多模腔的简化分析，在没有使用简化分析时，此值为“1”。

“阀浇口控制器”用于选择和编辑包括系统默认和操作者设定的阀浇口控制规则。

(2) 模具属性

“模具属性”选项用于选择和编辑模具材料及材料参数（如导热系数、密度、弹性模量、热膨胀系数等）。

2. 热浇口属性设置

在前面创建浇口时，单击“赋新属性”对话框中的“新建”按钮，在弹出的下拉式菜单中选择“热浇口”选项，弹出“热浇口”属性设置对话框，如图 5-41 所示。

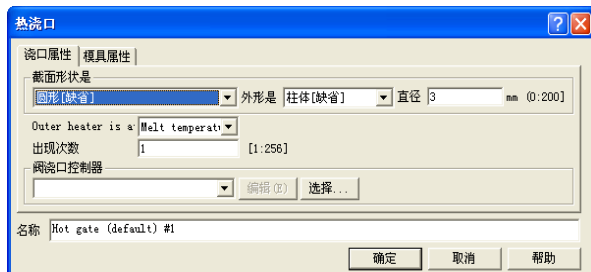


图 5-41 “热浇口”属性设置对话框

“热浇口”属性设置对话框也是包括“浇口属性”和“模具属性”两大项，其大部分选项和前述冷浇口属性设置相同，不再累述。其中，“Outer heater is at”（外加热器温度位于）主要用于设定加热器温度。它的下拉列表框中包括“Melt Temperature”和“Temperature=”两个选项，前者表示热浇口温度和熔胶温度一致，后者允许操作者自行设置加热器温度。

5.5.3 浇口曲线与柱体单元划分

浇口曲线与柱体单元有着本质的区别，前者只包含点、线元素而后者含有面域元素。因此，要使之成为可供分析的浇口，在 Moldflow 中对于二者在网格划分的处理方法上也不一样：对于浇口曲线，通过执行“网格→生成网格”命令；对于浇口的柱体单元执行“网格→网格工具→重新划分”命令。如图 5-42 所示为浇口曲线与柱体单元的网格划分对比。



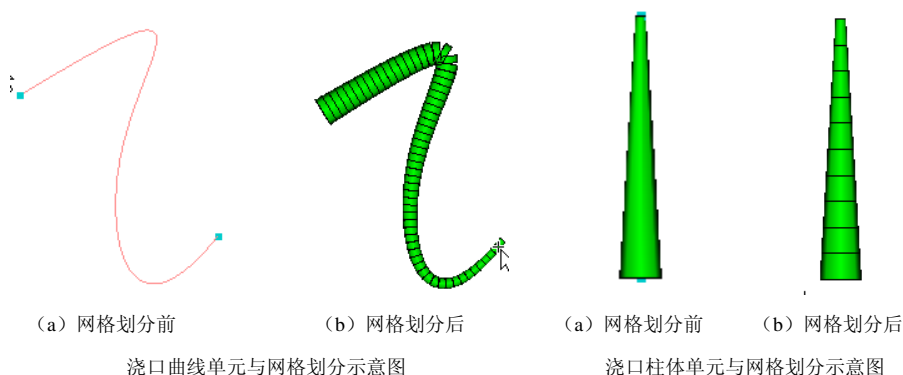


图 5-42 浇口曲线与柱体单元的网格划分对比

5.6 浇口创建实例

本节将结合实例，对几种常见类型浇口的创建进行介绍。

5.6.1 侧浇口的创建

本例的原始模型如图 5-43 所示，将在此模型上创建一个侧浇口，创建后的结果如图 5-44 所示，操作步骤如下。

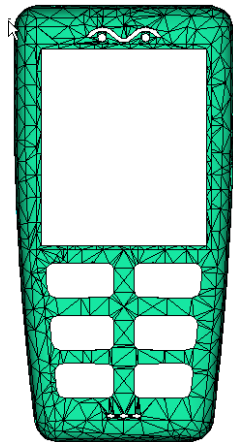


图 5-43 原始模型

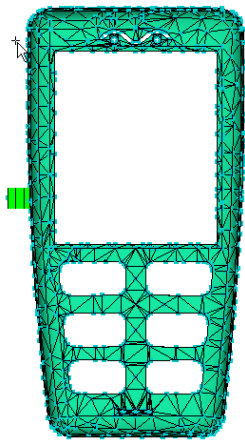


图 5-44 创建了侧浇口的模型

- (1) 执行“建模→创建曲线”命令，弹出“创建曲线”对话框，如图 5-45 所示。
- (2) 选择“直线”，“坐标 1”选择产品合适位置对应的节点 A，“坐标 2”输入“-600”，选中“相对”（利用相对坐标）单选按钮，单击“应用”按钮，创建直线，如图 5-46 所示。
- (3) 选择上步创建的直线（变红表示选中），单击鼠标右键，在弹出的菜单中执行“属性”命令，弹出“赋新属性”对话框，如图 5-47 所示。
- (4) 在“赋新属性”对话框中单击“新建”按钮，在下拉菜单中选择“冷浇口”，弹出“冷浇口”属性设置对话框，设置“截面形状”为“矩形”，单击“编辑尺寸”按钮，设定“宽度”



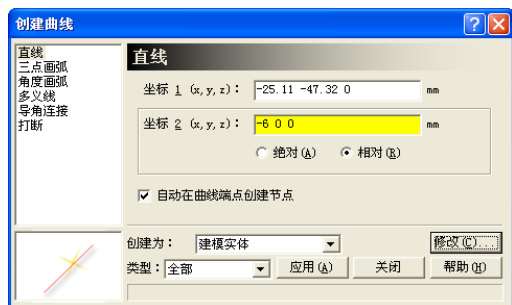


图 5-45 “创建曲线”对话框



图 5-46 在合适位置创建直线



图 5-47 “赋新属性”对话框

为“5”，“高度”为“2”，单击“确定”按钮，完成赋新属性，如图 5-48 所示。

(5) 选择上步创建的直线（变红表示选中），单击鼠标右键，在弹出的菜单中执行“定义网格密度”命令，弹出“定义网格密度”对话框，在“平均边长”文本框中输入“1.5”，单击“应用”按钮，完成网格密度的定义。柱体网格单元数量最好能保证在 3 以上，以方便软件模拟计算时的判断和运算，提高计算精度。本例中，浇口长度为“6”，把平均边长确定为 1.5~2 为宜，这样就可以得到 3~4 个柱体网格单元。

(6) 执行“网格→生成网格”命令，如图 5-49 所示。在弹出的“生成网格”对话框中，选中“全部重新划分”复选框，单击“生成网格”按钮，开始网格划分，等到划分完毕即得到如图 5-44 所示的结果。

至此，侧浇口的创建操作结束。

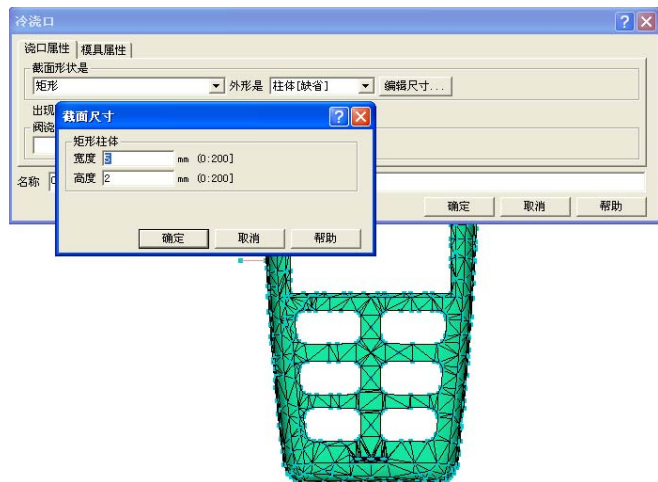


图 5-48 赋新属性

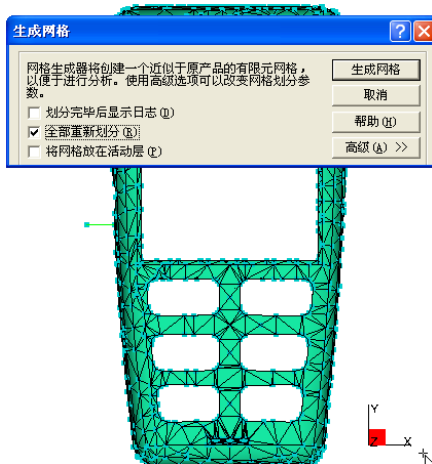


图 5-49 浇口柱体单元网格划分

5.6.2 扇形浇口的创建

本例采用如图 5-43 所示的原始模型，并将在此模型上创建一个扇形浇口，创建后的结果如图 5-50 所示。

具体操作步骤如下：

(1) 执行“建模→创建曲线”命令，弹出“创建曲线”对话框，如图 5-45 所示。

(2) 选择“直线”，“坐标 1”选择产品合适位置对应的节点 A。在“坐标 2”中输入“-6 0 0”，选中“相对”（利用相对坐标）单选按钮，单击“应用”按钮，创建直线，如图 5-46 示。

(3) 选择上步创建的直线（变红表示选中），单击鼠标右键，在弹出的菜单中执行“属性”命令，弹出“赋新属性”对话框，如图 5-47 所示。

(4) 在“赋新属性”对话框中单击“新建”按钮，在下拉菜单中选择“冷浇口”，弹出“冷浇口”属性设置对话框，“截面形状”为“矩形”，“外形”为“锥体（由端部尺寸）”，单击“编辑尺寸”按钮，设定“始端宽度”和“始端高度”分别为“8”和“1”，“终端宽度”和“终端高度”分别为“4”和“5”，单击“确定”按钮，完成新属性的赋予，如图 5-51 所示。

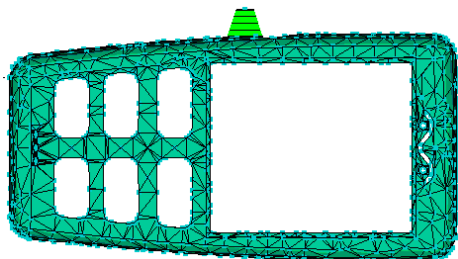


图 5-50 扇形浇口创建

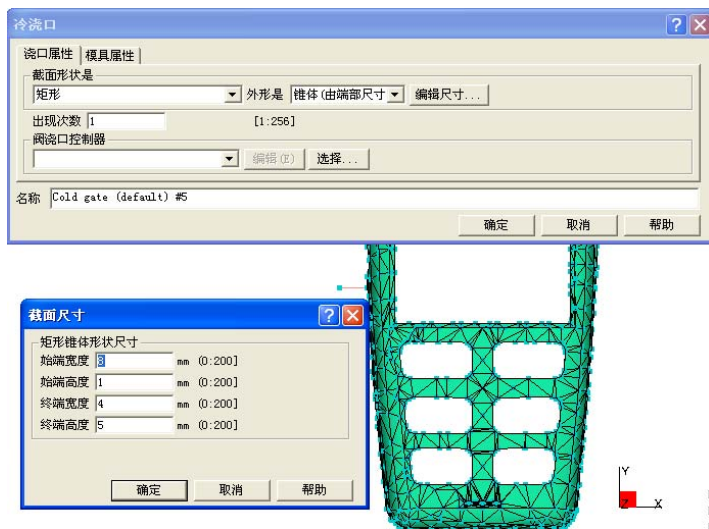


图 5-51 赋新属性

(5) 选择上步创建的直线（变红表示选中），单击鼠标右键，在弹出的菜单中执行“定义网格密度”命令，弹出“定义网格密度”对话框，在“平均边长”栏里输入“1.5”，单击“应用”按钮，完成网格密度的定义。

(6) 执行“网格→生成网格”命令，如图 5-49 所示。在弹出的“生成网格”对话框中，选中“全部重新划分网格”复选框，单击“生成网格”按钮，开始网格划分，等到划分完毕即得到如图 5-50 所示的结果。

至此，扇形浇口创建完成。



5.6.3 顶针潜伏式浇口的创建

本例采用如图 5-43 所示的原始模型，在此模型上创建一个扇形浇口，创建后的结果如图 5-52 所示，具体操作步骤如下。

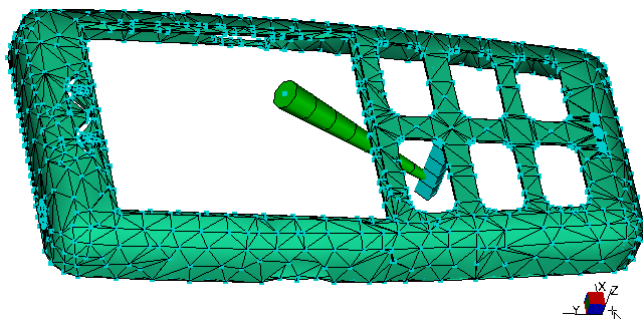


图 5-52 顶针潜伏式浇口的创建结果

(1) 执行“建模→创建节点”命令，弹出“创建节点”对话框，如图 5-53 所示。

(2) 选择“偏移”，“基准坐标”选择产品合适位置对应的节点 A，“偏移向量”输入“0 0 -15”（向 z 轴负方向偏移 15mm），单击“应用”按钮，创建节点 B。

(3) 执行“网格→创建柱体网格”命令，弹出“创建柱体网格”对话框。分别选择节点 A 和 B 作为柱体的起端和终端。单击“修改”按钮，弹出“赋新属性”对话框，在“新建”的下拉菜单中选择“产品上的柱体”，弹出“产品上的柱体”属性设置对话框。在“产品上的柱体”属性设置对话框中，选“截面形状”为半圆形，“外形”为“柱体”（缺省）。单击“编辑尺寸”按钮，弹出“截面尺寸”对话框，设置“直径”为“4”，“高度”为“4”。单击“确定”按钮，完成产品上柱体的创建，如图 5-54 所示。

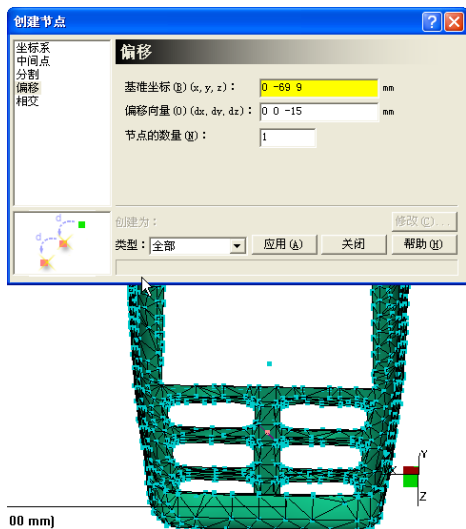


图 5-53 偏移创建节点

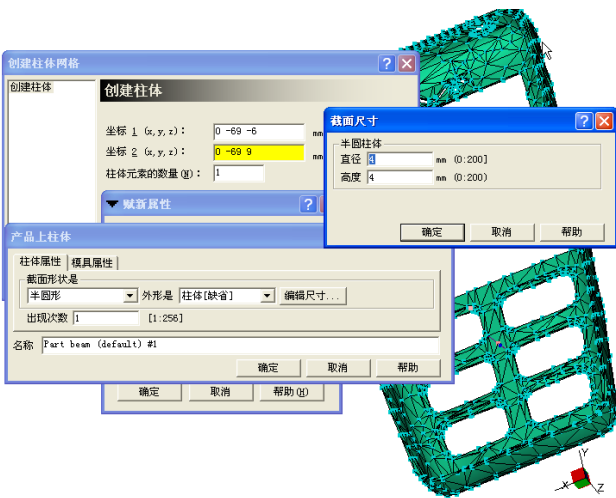


图 5-54 创建柱体单元

(4) 执行“网格→网格工具”命令，弹出“网格工具”对话框。选择“重新划分”，选



取上步创建的柱体，定义“目标边长”为“3”，单击“应用”按钮，完成网格划分，如图 5-55 所示。

(5) 执行“建模→创建节点”命令，弹出“创建节点”对话框，选择“偏移”，“基准坐标”选前面创建的柱体单元上的节点 C，“偏移量”为“0 30 20”，创建节点 D。

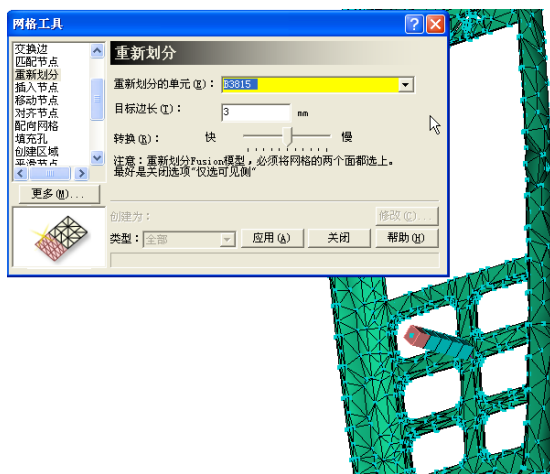


图 5-55 将创建的柱体单元进行网格划分



图 5-56 创建浇口柱体单元节点

(6) 执行“网格→创建柱体网格”命令，弹出“创建柱体网格”对话框。分别选择节点 C 和 D 作为柱体的起端和终端。单击“修改”按钮，弹出“赋予新属性”对话框，在“新建”的下拉菜单中选择“冷浇口”，弹出“冷浇口”属性设置对话框。在“冷浇口”属性设置对话框中，选“截面形状”为“圆形”，“外形”为“锥体（由端部尺寸定）”。单击“编辑尺寸”按钮，弹出“截面尺寸”对话框，设置“始端直径”为“1”，“终端直径”为“4”。单击“确定”按钮，完成浇口柱体单元的创建，如图 5-57 所示。



图 5-57 创建浇口单元

(7) 选浇口单元，执行“网格→定义网格密度”命令，弹出“定义网格密度”对话框，定义“平均边长”为“5”，完成浇口网格密度的定义，如图 5-58 所示。

(8) 执行“网格→网格工具”命令，弹出“网格工具”对话框，选择“重新划分”，具体设置如图 5-59 所示，即得到如图 5-52 所示的结果。



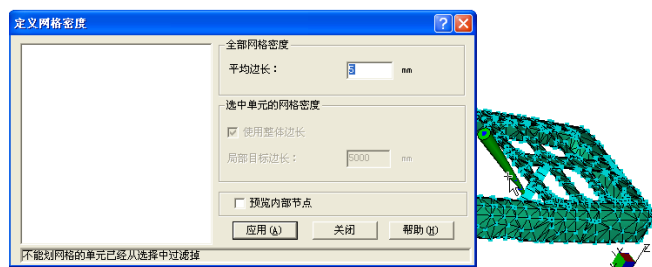


图 5-58 浇口网格密度的定义

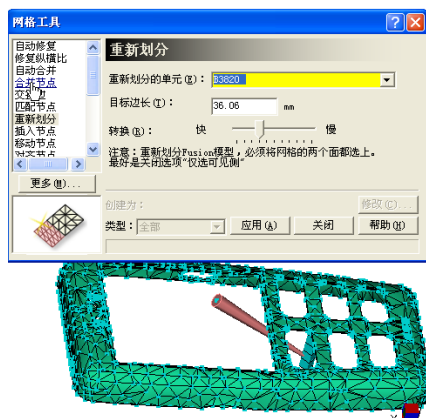


图 5-59 对浇口柱体单元划分网格

至此，顶针潜伏式浇口的创建操作结束。

5.6.4 牛角形（香蕉）浇口的创建

本例的原始模型如图 5-60 所示。

在此模型上创建一个侧浇口，创建后的结果如图 5-61 所示。

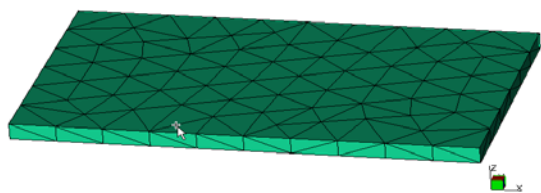


图 5-60 原始模型

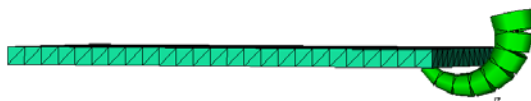


图 5-61 创建牛角形浇口后的模型

具体操作步骤如下：

(1) 执行“建模→创建节点”命令，弹出“创建节点”对话框，如图 5-62 所示。选择“偏移”，“基准坐标”选择产品合适位置对应的节点 A，分别创建节点 B 和 C。

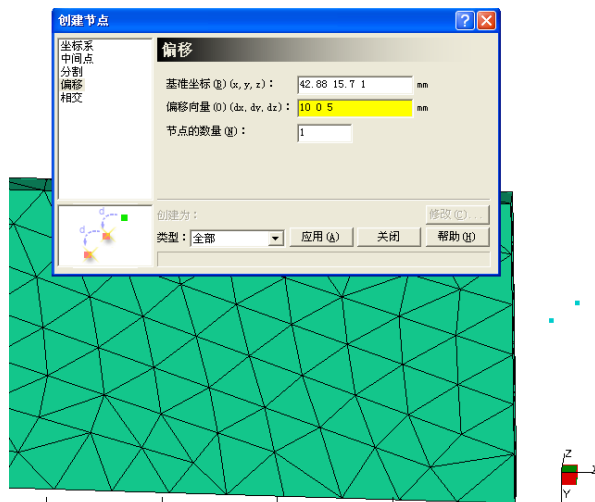


图 5-62 创建节点



(2) 执行“建模→创建曲线”命令，弹出“创建曲线”对话框。选择“三点画弧”然后依次选取节点 C、B 和 A，选中“圆弧”和“自动在曲线端点创建节点”复选框，单击“修改”按钮，弹出“赋新属性”对话框。在“赋新属性”对话框的“新建”下拉菜单中选择“冷浇口”，弹出“冷浇口”属性设置对话框。在“冷浇口”属性设置对话框中，选择“截面形状”为“圆形”，“外形”为“锥体（由端部尺寸定）”。单击“编辑尺寸”按钮，弹出“截面尺寸”对话框，“始端直径”为“5”，“终端直径”为“1.5”。单击“确定”按钮，完成浇口柱体单元的创建，如图 5-63 所示。

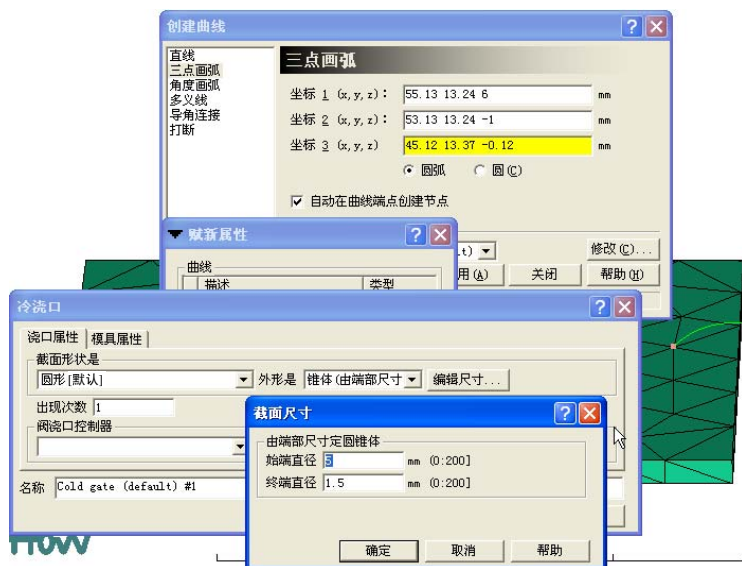


图 5-63 创建浇口柱体单元

(3) 选取浇口柱体单元，执行“网格→定义网格密度”命令，弹出“定义网格密度”对话框，定义“平均边长”为“2”，完成浇口柱体单元的网格密度定义。

(4) 执行“网格→生成网格”命令，弹出“生成网格”对话框，选中“全部重新划分”复选框，单击“生成网格”按钮，如图 5-64 所示。待网格重新划分完成后，就得到如图 5-61 所示结果。

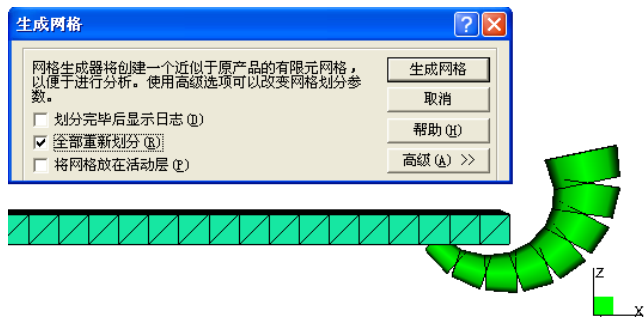


图 5-64 创建浇口柱体单元进行网格划分

至此，牛角形浇口的创建操作结束。



5.7 冷流道浇注系统创建实例

本节将以一个按钮零件为例，讲述冷流道浇注系统的创建方法和步骤。

本例的原始模型如图 5-65 所示，将基于此模型创建一个冷流道系统，创建结果如图 5-66 所示。

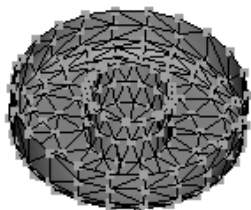


图 5-65 原始模型

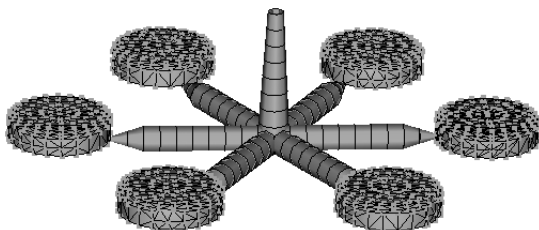


图 5-66 创建了浇注系统的模型

具体操作步骤如下：

(1) 创建节点，以作为旋转复制的中心点：执行“建模→创建节点”命令，弹出“创建节点”对话框，如图 5-67 所示。选择“偏移”，“基准坐标”选择产品合适位置对应的节点 A，创建节点 B。

(2) 创建一模多腔的布排：执行“建模→移动/复制”命令，弹出“移动/复制单元”对话框，选择“旋转”，框选原始模型所有元素作为操作对象，旋转轴为“z”轴，角度为“60°”，参考基准点为节点 B，复制的数量为“6”，单击“应用”按钮，完成旋转复制，即一模六腔，如图 5-68 所示。

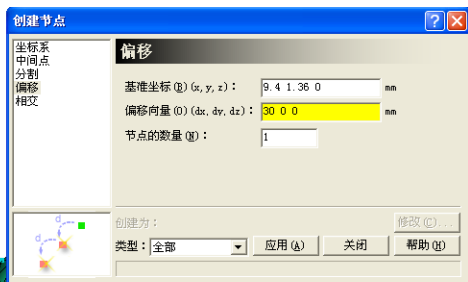


图 5-67 创建节点

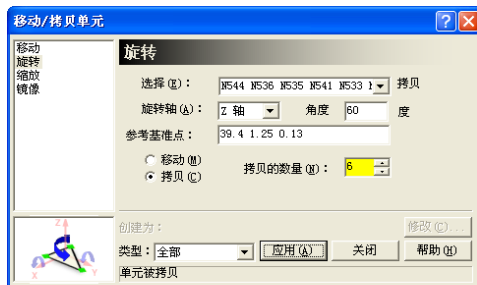


图 5-68 创建一模六腔的布排

(3) 创建节点，以作为流道创建的依据。执行“建模→创建节点”命令，弹出“创建节点”对话框，如图 5-69 所示。选择“偏移”，“基准坐标”选择产品合适位置对应的节点 A，创建节点 C。

同理，创建其他节点，如图 5-70 所示。



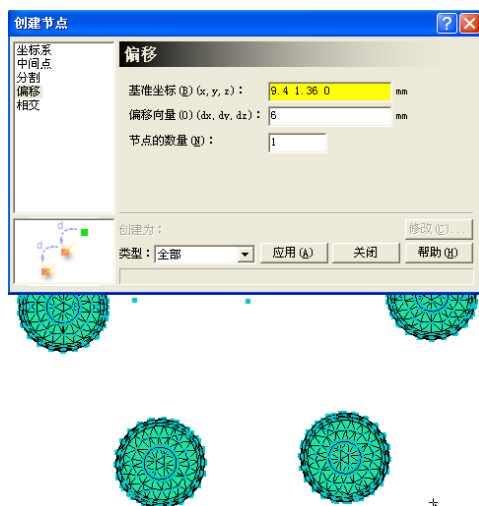


图 5-69 创建节点



图 5-70 创建其他节点

执行“建模→创建节点”命令，弹出“创建节点”对话框，如图 5-71 所示。选择“偏移”，“基准坐标”选择节点 B，创建主流道节点 D。



图 5-71 创建主流道节点

(4) 创建主流道柱体单元。执行“建模→创建曲线”命令，弹出“创建曲线”对话框。选择“直线”后依次选取节点 D 和 B，单击“修改”按钮，弹出“赋新属性”对话框。在“赋



新属性”对话框的“新建”下拉菜单中选择“冷竖浇道”，弹出“冷竖浇道”属性设置对话框。在“冷竖浇道”属性设置对话框中，选“外形”为“锥体（由端部尺寸定）”。单击“编辑尺寸”按钮，弹出“截面尺寸”对话框，设置“始端直径”为“3”，“终端直径”为“6”。单击“确定”按钮，完成主流道柱体单元的创建，如图 5-72 所示。

(5) 创建分流道柱体单元。

1) 执行“建模→创建曲线”命令，弹出“创建曲线”对话框。选择“直线”后依次选取节点 B 和 C，单击“修改”按钮，弹出“赋新属性”对话框。在“赋新属性”对话框的“新建”下拉菜单中选择“冷流道”，弹出“冷流道”属性设置对话框。在“冷流道”属性设置对话框中，选择“截面形状”为“圆形”。单击“编辑尺寸”按钮，弹出“截面尺寸”对话框，设置直径为“3”。单击“确定”按钮，完成一个分流道柱体单元的创建，如图 5-73 所示。

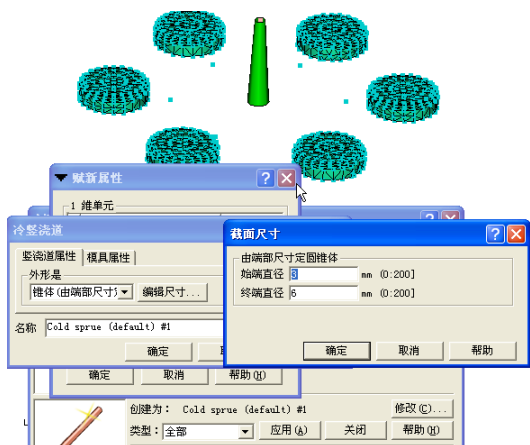


图 5-72 创建主流道柱体单元



图 5-73 创建一个分流道柱体单元

2) 同理，创建其他 5 个分流道柱体单元。

(6) 创建浇口柱体单元

1) 执行“建模→创建曲线”命令，弹出“创建曲线”对话框。选择“直线”后依次选取节点 C 和 A，单击“修改”按钮，弹出“赋新属性”对话框。在“赋新属性”对话框的“新建”下拉菜单中选择“冷浇口”，弹出“冷浇口”属性设置对话框。在“冷浇口”属性设置对话框中，选“截面形状”为“圆形”，“外形”为“锥体（由端部尺寸定）”。单击“编辑尺寸”按钮，弹出“截面尺寸”对话框，设置“始端直径”为“5”，“终端直径”为“1”。单击“确定”按钮，完成浇口柱体单元的创建，如图 5-74 所示。

2) 同理，创建其他 5 个浇口柱体单元。

(7) 定义主流道、分流道和浇口柱体单元的网格密度。选择所有柱体单元，执行“网格→定义网格密度”命令，弹出“定义网格密度”对话框，设置“平均边长”为“3”，单击“应用”按钮，完成网格密度的定义，如图 5-75 所示。

(8) 重新划分网格，建立浇注系统。执行“网格→生成网格”命令，弹出“生成网格”对话框，选中“全部重新划分”复选框，单击“生成网格”按钮，如图 5-76 所示。待网格重新划分完成后，就得到如图 5-66 所示的结果。



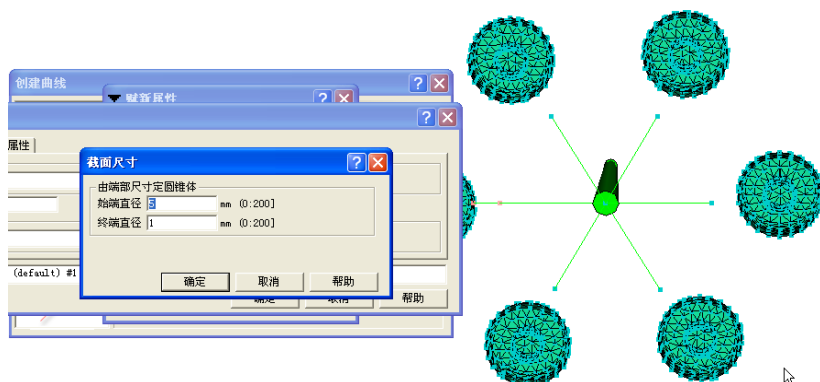


图 5-74 创建一个浇口柱体单元



图 5-75 定义主流道、分流道和浇口柱体单元的网格密度

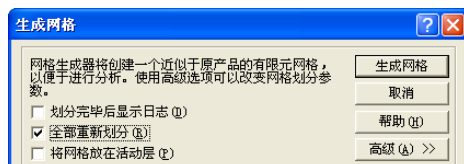


图 5-76 重新划分网格

至此，冷流道浇注系统的创建操作完成。



本章将在介绍冷却水路手动创建命令、水路属性设置和水路柱体单元网格划分的基础上，通过几个水路手动创建的操作实例，演示几种常见冷却水路的手动创建方法和操作步骤。

6.1 冷却水路手动创建命令

在 Moldflow 4.1 软件中，冷却水路的创建包括管道、软管、挡板式和喷泉式等命令。

和浇注系统单元的创建类似，各种冷却水路单元的手动创建方法主要有两种：一种是使用“建模→创建曲线”命令；另一种是使用“网格→创建柱体网格”命令。两种方法的创建命令分别如下：

(1) 使用“建模→创建曲线”命令创建冷却水路。

1) 执行“建模→创建曲线”命令，弹出“创建曲线”对话框，如图 6-1 所示。

2) 输入节点坐标或选择节点单元，单击“修改”按钮，弹出“赋新属性”对话框，如图 6-2 所示。

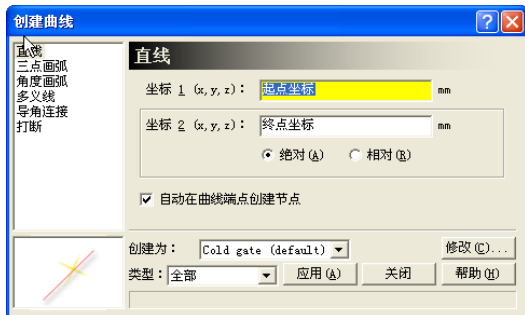


图 6-1 “创建曲线”对话框



图 6-2 “赋新属性”对话框

3) 单击对话框中的“新建”按钮，打开下拉菜单，各种水路单元均可在该下拉菜单中选择，如图 6-3 所示。

其中：“管道”选项用于创建水路；“软管”选项用于创建软管；“挡板式”选项用于创建挡（隔）板式水路；“喷泉式”选项用于创建喷泉式水路。

(2) 使用“网格→创建柱体网格”命令创建冷却水路。

1) 执行“网格→创建柱体网格”命令，弹出“创建柱体网格”对话框，如图 6-4 所示。

2) 输入节点坐标或选择节点单元，单击“修改”按钮，弹出“赋新属性”对话框，如图 6-2 所示。



图 6-3 “新建”按钮的下拉菜单

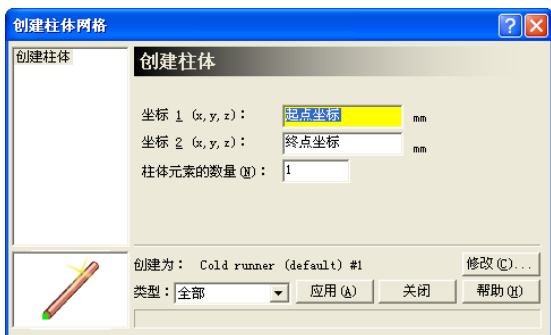


图 6-4 “创建柱体网格”对话框

3) 单击对话框中的“新建”按钮，打开下拉菜单，各种水路单元均可在该下拉菜单中选择（图 6-3）：“管道”选项用于创建水路；“软管”选项用于创建软管；“挡板式”选项用于创建挡（隔）板式水路；“喷泉式”选项用于创建喷泉式水路。

6.2 冷却水路属性设置

冷却水路属性的设置包括水路的截面形状、直径尺寸、冷却管道热传导效应系数、管道粗糙度和模具材料等参数的确定。通过这些参数的设置，可以获得不同属性的冷却水路。

(1) 普通（管道）水路属性设置。

如图 6-3 所示，当选择“管道”选项后，弹出“管道”属性设置对话框，如图 6-5 所示。

1) “截面形状”的下拉列表框中共有 6 个选项，包括“圆形”、“半圆形”、“梯形”、“U 形”、“矩形”和“其他形状”选项。其中以“圆形”最为常用，因为一般模具上的冷却管道是用普通麻花钻头钻出来的，如图 6-6 所示。

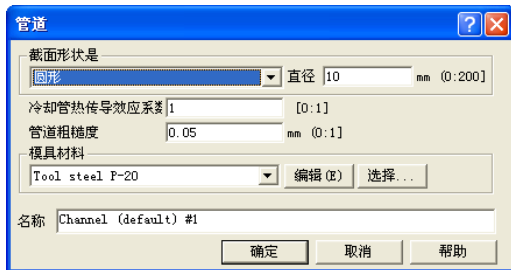


图 6-5 “管道”属性设置对话框

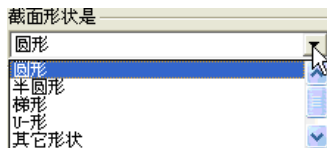


图 6-6 截面形状选项

2) 直径：用于设置管道直径尺寸。

3) 冷却管道热传导效应系数：取值范围为“0~1”表示水路的传热效果。默认值为“1”，表示理想状态，一般保持默认值不用修改。

4) 管道粗糙度：默认值为 0.05，无须修改。

5) 模具材料：默认为美国的 P20 热作模具钢。其中的“选择”按钮用于在材料库中选择其他钢材，“编辑”按钮用于编辑所选钢材的信息和性能参数。

(2) 挡板式水路属性设置。

如图 6-3 所示，当选择“挡板式”选项后，弹出“挡板式”属性设置对话框，如图 6-7 所示。

挡板式水路属性设置与普通管道水路设置基本相同，只是“热传导效应系数”默认值为“0.5”，这个值对应普通管道水路的“1”。

(3) 喷泉式水路属性设置。

如图 6-3 所示，当选择“喷泉式”选项后，弹出“喷泉式”属性设置对话框，如图 6-8 所示。



图 6-7 “挡板式”属性设置对话框



图 6-8 “喷泉式”属性设置对话框

其中：“外径”用于确定喷泉管的外径；“内径”用于确定喷泉管的内径；“热传导效应系数”默认值和普通管道水路相同，为“1”；“管道粗糙度”默认值为“0.05”；“模具材料”的设置同普通管道式冷却水路。

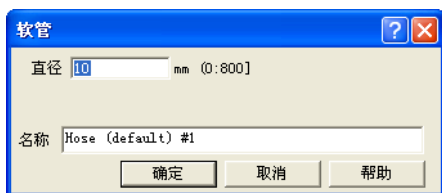


图 6-9 “软管”属性设置对话框

(4) 软管属性设置

如图 6-3 所示，当选择“软管”选项后，弹出“软管”属性设置对话框，如图 6-9 所示。

6.3 冷却水路曲线与柱体单元划分

冷却水路曲线与柱体单元有着本质的区别，前者只包含点、线元素，而后者含有面域元素。因此，要使之成为可供分析的浇口，在 Moldflow 中对于二者在网格划分的处理方法上也不一样：对于浇口曲线，通过执行“网格→生成网格”命令；对于浇口的柱体单元执行“网格→网格工具→重新划分”命令。如图 6-10 所示为水路曲线单元与柱体单元的网格划分。

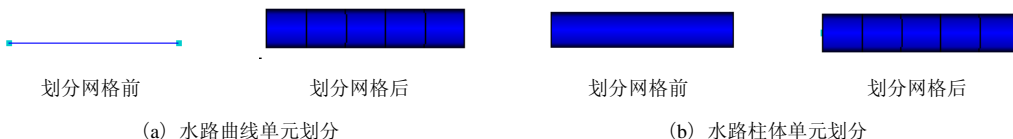


图 6-10 水路曲线单元和柱体单元的网格划分比较

具体划分操作在下面的冷却水路系统创建实例中将会有详细介绍。



6.4 循环式冷却水路创建实例

对应复杂的冷却系统，通常都是通过手动方式创建的。

本例将以手动的方式完成手机面板的循环式冷却水路的创建。本例的原始模型如图 6-11 所示，创建完成后的模型如图 6-12 所示。

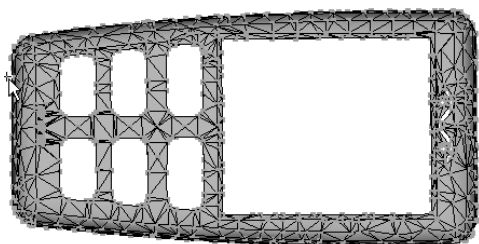


图 6-11 原始模型



图 6-12 循环式冷却水路创建完成后的模型

具体操作步骤如下：

(1) 创建节点：执行“建模→创建节点”命令，选择“移动/拷贝”，从原始模型上复制两个新节点，如图 6-13 所示。



图 6-13 从原始模型上复制两个新节点

(2) 创建水路曲线：执行“建模→创建曲线”命令，选择“直线”，选择两节点，单击“修改”按钮，弹出“赋新属性”对话框。在“赋新属性”对话框的“新建”下拉列表框选择“管道”，弹出“管道”属性设置对话框。在“管道”属性设置对话框中设定“管道截面形状”为“圆形”，“直径”为“8mm”。单击“确定”按钮，完成水路曲线的创建。如图 6-14 所示。

(3) 复制水路曲线。

1) 执行“建模→移动/拷贝”命令，选择已创建的水路曲线，移动向量为“0 -250”（沿 y 轴负方向移动 25mm），选择“拷贝”，“拷贝的数量”为“2”。

2) 执行“建模→移动/拷贝”命令，选择最下端曲线，移动矢量为“0 -150”（沿 y 轴负方向移动 15mm），选择“拷贝”，“拷贝的数量”为“3”。

执行结果如图 6-15 所示。



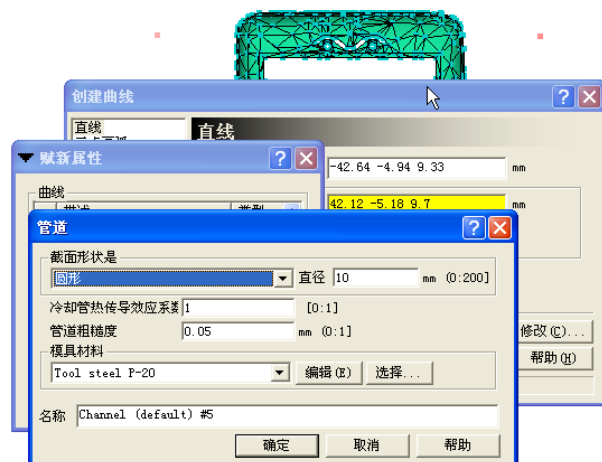


图 6-14 创建水路曲线

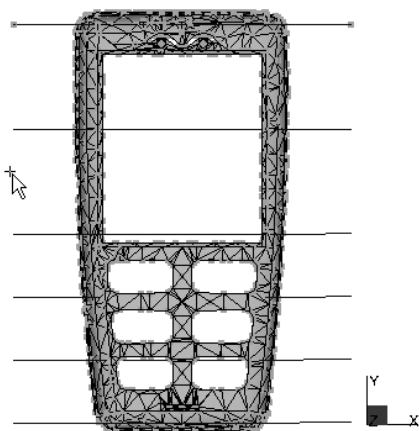


图 6-15 复制水路曲线结果

(4) 创建软管。

1) 执行“建模→创建曲线”命令，选择“直线”，选择上面三条水路曲线的首尾两节点，单击“修改”按钮，弹出“赋予新属性”对话框。在“赋予新属性”对话框的“新建”下拉列表框中选择“软管”，弹出“软管”属性设置对话框。在“软管”属性设置对话框中设定“直径”为“8mm”。单击“确定”按钮，完成软管的创建，如图 6-16 所示。

2) 执行“建模→创建曲线”命令，选择“直线”，选择下面三条水路曲线的首尾两节点，单击“修改”按钮，弹出“赋予新属性”对话框。在“赋予新属性”对话框的“新建”下拉列表框选中“软管”，弹出“软管”属性设置对话框。在“软管”属性设置对话框设定“直径”为“8mm”。单击“确定”按钮，完成软管创建，如图 6-17 所示。

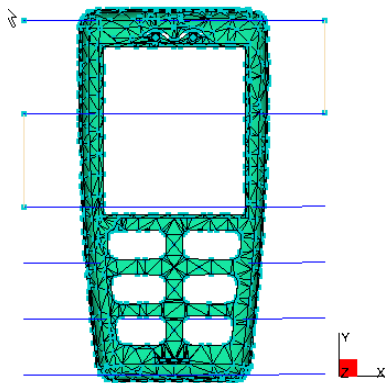


图 6-16 创建软管结果

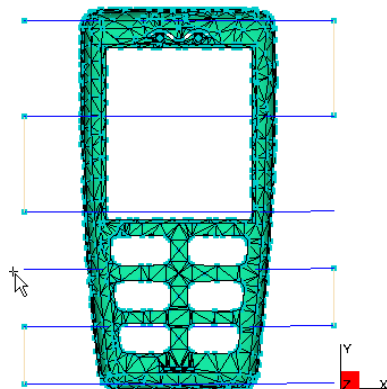


图 6-17 软管创建结果

(5) 定义管道的网格密度、划分网格。

1) 定义管道的网格密度：选择创建的 6 条水路曲线，执行“网格→定义网格密度”命令，弹出“定义网格密度”对话框。确定“平均边长”为“20mm”（取水路直径的 2.5~3 倍），完成管道的网格密度定义。

2) 划分网格：执行“网格→生成网格”命令，弹出“生成网格”对话框，激活“全部重新划分”，单击“生成网格”按钮，待网格重新划分完成，如图 6-18 所示。



(6) 设置冷却液入口。

执行“分析→设定冷却液入口”命令，弹出“设定冷却液入口”对话框，选中左侧两个管道口为冷却液入口。单击“编辑”按钮，弹出“冷却液入口”属性设置对话框，选择“冷却液”为纯净水，“指定雷诺数”为“10000”（湍流状态），“冷却液入口温度”为“25℃”（室温），如图 6-19 所示。

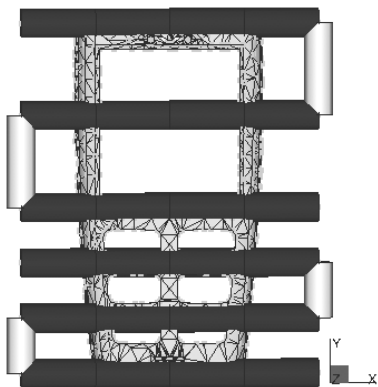


图 6-18 重划网格



图 6-19 设置冷却液入口

(7) 移动和复制冷却水路。

1) 执行“建模→移动/拷贝”命令，弹出“移动/拷贝单元”对话框，选择所有冷却水路元素，“移动向量”为“0 0 20”（向 z 轴正方向移动 20mm），激活“移动”选项，完成移动，如图 6-20 所示。

2) 执行“建模”→“移动/拷贝”命令，弹出“移动/拷贝单元”对话框，选择所有冷却水路元素，“移动向量”为“0 0 -50”（向 z 轴负方向移动 50mm），激活“拷贝”选项，“拷贝的数量”为“1”，完成复制。

至此，整个冷却水路创建完毕。

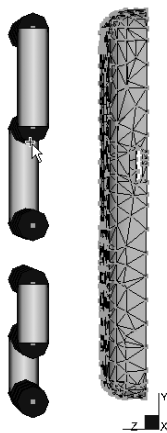


图 6-20 移动冷却管道

6.5 挡板式水路创建实例

本例的原始模型如图 6-21 所示，已存在两段处于断路状态的管道 N1N2、N3N4（其中 N1、N2、N3、N4 分别为管道端部对应节点）和节点 N5。创建完成的模型如图 6-22 所示。

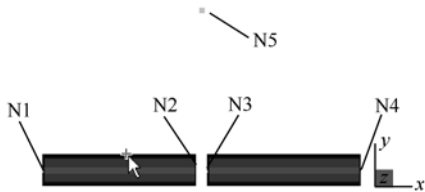


图 6-21 原始模型

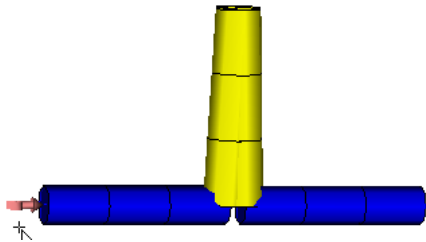


图 6-22 挡板式水路效果图

具体操作步骤如下：

(1) 创建挡板柱体单元。

1) 执行“网格→创建柱体网格”命令，弹出“创建柱体网格”对话框。分别选择节点 N3 和 N5 为起点和终点。单击“修改”按钮，弹出“赋新属性”对话框。在“赋新属性”对话框的“新建”下拉列表框中选择“挡板式”，弹出“挡板式”属性设置对话框。在“挡板式”属性设置对话框中设定“直径”为“12mm”，单击“确定”按钮，完成挡板柱体单元的创建，如图 6-23 所示。

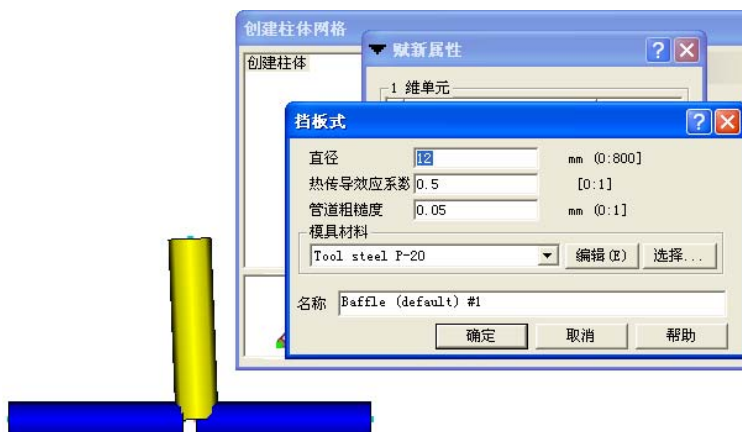


图 6-23 创建挡板柱体单元 1

2) 同理，创建以节点 N3 和 N5 为起点和终点的挡板柱体单元，如图 6-24 所示。



图 6-24 创建挡板柱体单元 2

(2) 划分挡板与水路的柱体单元网格

执行“网格→网格工具”命令，弹出“网格工具”对话框，选择“重新划分”选项，框选挡板与水路的柱体单元作为“重新划分的单元”，“目标边长”设定为“15”（以保证至少出现三个网格单元），单击“应用”按钮，完成挡板与水路的柱体单元网格的划分，如图 6-25 所示。



(3) 设置冷却液入口。

执行“分析→设定冷却液入口”命令，弹出“设定冷却液入口”对话框，选择左侧节点 N1 为冷却液入口设置点。单击“编辑”按钮，弹出“冷却液入口”属性设置对话框，选择“冷却液”为纯净水，“指定雷诺数”为“10000”（湍流状态），“冷却液入口温度”为“25℃”（室温），完成冷却液入口的设置，如图 6-26 所示。

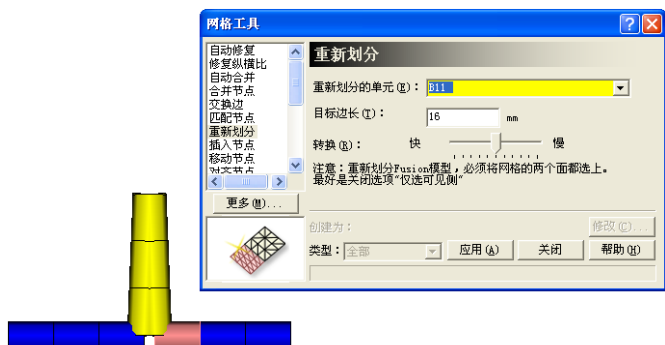


图 6-25 划分挡板与水路的柱体单元网格

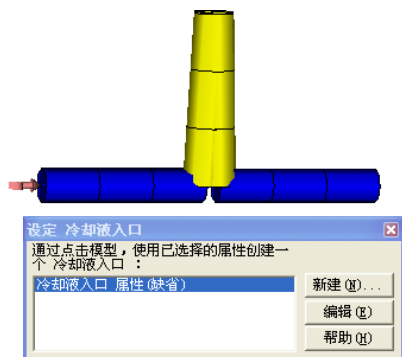


图 6-26 设置冷却液入口

至此，挡板式冷却水路创建完毕。

6.6 喷泉式水路创建实例

本例的原始模型如图 6-27 所示，已存在两段处于断路状态的管道 N1N2、N3N4（其中 N1、N2、N3、N4 分别为管道端部对应节点）和节点 N5。创建完成后的模型如图 6-28 所示。

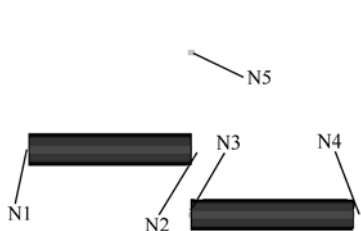


图 6-27 原始模型

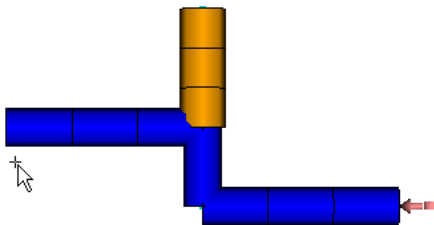


图 6-28 创建完成后的模型

具体操作步骤如下：

(1) 创建管道与喷泉水路柱体单元。

1) 创建管道柱体单元

执行“网格→创建柱体网格”命令，弹出“创建柱体网格”对话框。分别选择节点 N3 和 N5 为起点和终点。单击“修改”按钮，弹出“赋新属性”对话框。在“赋新属性”对话框的“新建”下拉列表框中选择“管道”，弹出“管道”属性设置对话框。在“管道”属性设置对话框设定“截面形状”为“圆形”，“直径”为“10mm”，“冷却管传热效应”为“0”（因为此管道被包在喷泉管中，“冷却管热传导效应系统”为“0”表示此管道不传热），单击“确定”按钮，完成管道柱体单元的创建，如图 6-29 所示。



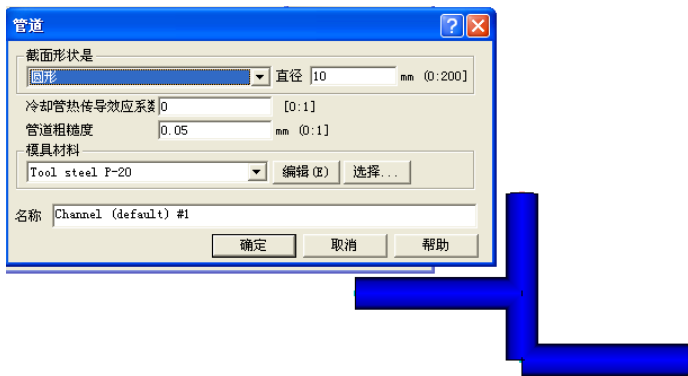


图 6-29 创建管道柱体单元

2) 创建喷泉管柱体单元

执行“网格→创建柱体网格”命令，弹出“创建柱体网格”对话框。分别选择节点 N5 和 N2 为起点和终点。单击“修改”按钮，弹出“赋新属性”对话框。在“赋新属性”对话框的“新建”下拉列表框中选择“喷泉式”，弹出“喷泉式”属性设置对话框。在“喷泉式”属性设置对话框中设定“外径”尺寸为“12mm”，“内径”尺寸为“8mm”，单击“确定”按钮，完成喷泉管柱体单元的创建，如图 6-30 所示。



图 6-30 创建喷泉管柱体单元

(2) 划分喷泉管与管道水路的柱体单元网格。

执行“网格→网格工具”命令，弹出“网格工具”对话框，选择“重新划分”选项，框选喷泉管与管道水路的柱体单元作为“重新划分的单元”，“目标边长”设定为“15”（以保证至少出现三个网格单元为宜），单击“应用”按钮，完成喷泉管与管道水路的柱体单元网格的划分，如图 6-31 所示。

(3) 设置冷却液入口。

执行“分析→设定冷却液入口”命令，弹出“设定 冷却液入口”对话框，选择右侧节点 N4 为冷却液入口设置点。单击“编辑”按钮，弹出“冷却液入口”属性设置对话框，选择“冷却液”为纯净水，指定“雷诺数”为“10000”（湍流状态），“冷却液入口温度”为“25℃”（室温），完成冷却液入口的设置，如图 6-32 所示。



至此，喷泉式冷却水路创建完毕。



图 6-31 划分喷泉管与管道水路的柱体单元网格

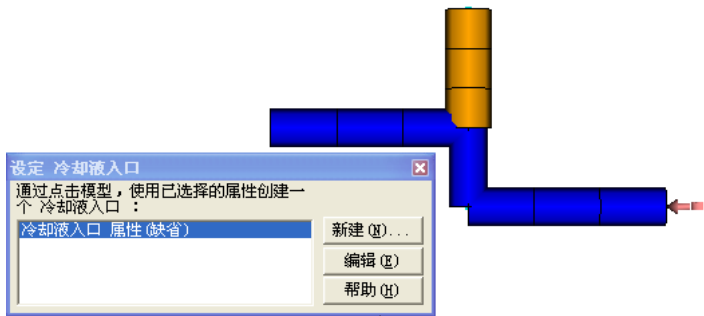


图 6-32 设置冷却液入口

在建模操作完成以后，可以对分析成型工艺参数进行设置，成型工艺参数的设置将会明显影响分析结果的准确率。

我们在此讨论的成型工艺参数主要包括模注塑成型三大工艺参数体系（温度—模具温度、熔胶温度；压力—注射压力、保压压力和背压；时间—注射时间、保压时间和冷却时间等）以及保压切换点和保压曲线的设置等。

7.1 分析序列的设定

首先，调用用于设定分析序列的任务视窗。在 Moldflow 4.1 中文版左侧的操作窗口中会出现“方案任务视窗”，如图 7-1 所示（若无此视窗，可执行“视图→方案任务视窗”菜单命令，具体操作参照图 7-2）。

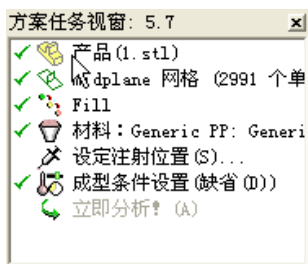



图 7-1 方案任务视窗



图 7-2 方案任务视窗的调用

如图 7-1 所示的“方案任务视窗”主要用于“网格”、“选择分析序列”、“选择材料”、“设定注射位置”和“成型条件设置”等。以下对具体操作逐一进行简单介绍。

（1）网格

“ Midplane 网格 (2991 个单元)”：前半部分显示网格类型为 Midplane（中面网格），括号内显示的是网格划分和修改完成后的数量。

该选项可以提供（右键操作）重新划分网格、定义网格密度、网格工具、网格统计和修改网格类型等操作功能，如图 7-3 所示。

1) 重新划分网格：选择次级菜单中的“生成网格 (M)”，弹出“生成网格”对话框，如图 7-4 所示。通过此对话框可以对现有网格进行重新划分，当然重新划分以后的网格一般需要通过网格工具重新修改纵横比、定向、重叠交叉和自由边等网格缺陷。

另外，定义网格密度、网格工具、网格统计等选项在前面的基础建模部分已经详细讨论过了，在此不作解释。



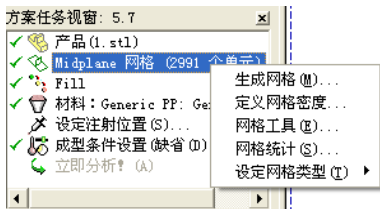


图 7-3 网格对话框

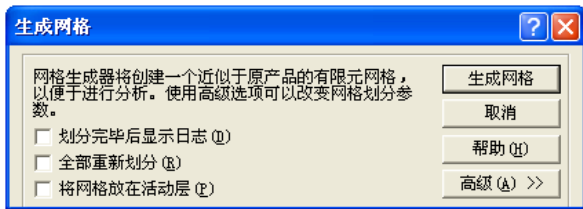


图 7-4 “生成网格”对话框

2) 修改网格类型：选择次级菜单中的“设定网格类型 (T)”，如图 7-5 所示。弹出“设定网格类型”对话框。当前模型为中面模型，要将现有的中面模型改为双面或 3D 模型可以在该对话框中进行选择。

(2) 选择分析序列

Moldflow 4.1 中文版提供了多种分析序列，如图 7-6 所示。

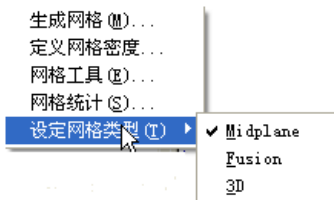


图 7-5 “设定网格类型”命令

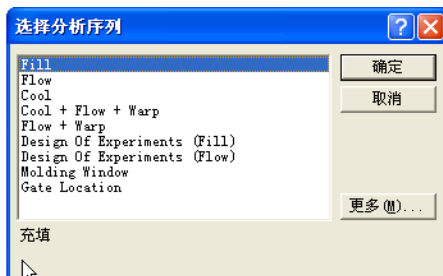


图 7-6 “选择分析序列”对话框

每种分析序列的关注点不同，结果也不同。所以，要首先确定此次分析的目标和重点，然后有针对性地选择分析序列，以更好地完成分析任务。

现将图 7-6 所示的各常见分析模式和序列分别进行简要说明。

1) Fill (充填分析)：主要用于浇注系统的模拟分析，以获得最佳浇注系统。例如，检查流动是否平衡，有无短射，有无熔接痕和困气等缺陷；其分析结果主要包括填充时间、压力、熔体前沿温度、表面和芯部分子（纤维）取向、剪切速率、困气、熔接痕等；该序列可用于优化浇口位置、数量与布排，以及整个浇注系统的布局等。

2) Flow (流动分析)：主要用于后充填阶段的模拟分析，以获得最佳保压设置。其分析结果主要包括填充时间、压力、熔体前沿温度、表面和芯部分子（纤维）取向、剪切速率、困气、收缩（包括体收缩和 x 、 y 、 z 三个方向的分收缩量）、熔接痕等；该序列可用于优化由保压设置引起的收缩、翘曲等缺陷。

3) Cool (冷却分析)：用于模拟制品冷却效果优劣，从而对冷却时间、冷却管道参数进行优化，达到整个成型周期的优化效果。其分析结果主要包括模面温度、产品表面温度和产品各部位温度差异等。

4) Cool+Flow+Warp (冷却+流动+翘曲分析)：可以同时获得上述 2)、3) 两项分析结果和翘曲结果（包括由受热不均、分子及纤维取向和收缩引起的翘曲），主要用于收缩和翘曲的优化。

5) Design of Experiments (Fill)：基于充填的试验设计法分析。常用的试验设计法 (DOE) 包括正交试验、单因素试验等。其分析结果主要包括收缩率、填充时间、注射压力及其分布、



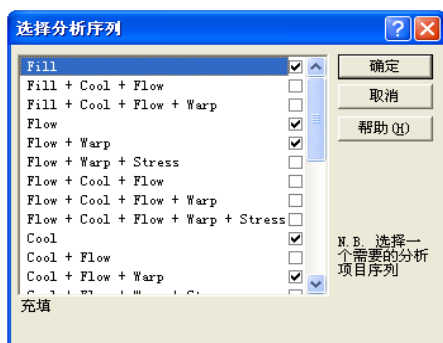


图 7-7 分析序列的更多选择

熔体前沿温度等；该序列可用于优化成型工艺参数和产品质量等。

6) Molding Window (成型工艺窗口分析): 主要用于确定最佳成型工艺。

7) Gate Location (浇口位置分析): 其结果显示浇口位置优劣, 用于优化浇口位置。

另外, 单击“更多”按钮弹出分析序列的更多选择, 如图 7-7 所示。允许操作者通过勾选的方式选择, 选择以后的序列模式会出现在如图 7-6 所示的对话框内。

7.2 物料的选择

Moldflow 4.1 中文版提供一个强大的物料数据库, 包含近万种可用于 CAE 分析的热塑性和热固性塑料的性能参数, 这些塑料可供操作者自由选择。

双击“方案任务视窗”里面的材料选项或执行“分析→选择材料”菜单命令, 会弹出“选择材料”对话框, 如图 7-8 所示, 用于物料的选择。

常用材料: 主要显示前期分析时使用过的材料, 材料“搜索引擎”认为这些材料为操作者“常用”材料, 可以直接调用, 无须搜索。在很多时候, 我们所需要的材料并不在常用材料栏里, 这时就要通过搜索找到目标。这类似于在互联网上通过各种搜索引擎来查找要得到的东西。

指定材料: 提供通过指定制造商和材料编号(商品名称)的方法查找材料。搜索到的目标材料可以通过选中“选择此材料后, 将其添加到常用材料列表中”复选框将其加入“常用材料”以备下次快速选用; 单击“详细内容”按钮可查看选用材料的详细参数; 单击“报告”按钮可查看“材料数据报告”。

在如图 7-8 所示的“选择材料”对话框中单击“搜索”按钮, 弹出“搜索条件”对话框, 如图 7-9 所示。其中, 搜索字段包括制造商、商业名称、全称、填充物、MFR (熔融状态下的流动率) 等。



图 7-8 “选择材料”对话框

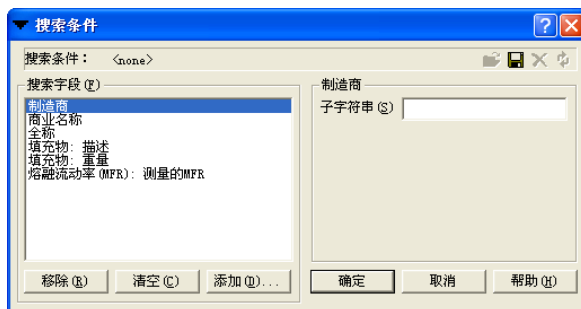


图 7-9 “搜索条件”对话框

现以 ABS 物料为例进行搜索:



1) 按制造商进行搜索, 选择“搜索字段”中的“制造商”, 在对应的“子字符串”中输入“chi mei (奇美公司)”, 如图 7-10 所示。单击“确定”按钮进行搜索, 结果如图 7-11 所示。我们可以看出, 材料库收录的所有奇美公司的物料均搜索到, 当然包括该公司的 ABS 物料。

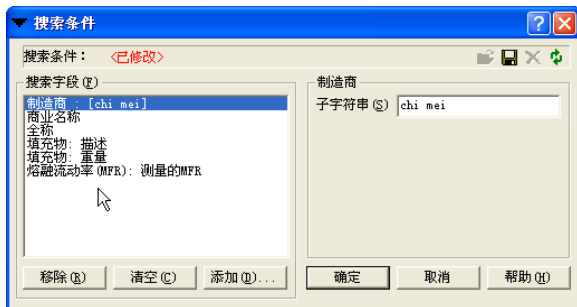


图 7-10 按制造商搜索



图 7-11 按“制造商”搜索的结果

2) 按商品名称进行搜索, 选择“搜索字段”中的“商品名称”, 在对应的“子字符串”中输入“sp-6”, 如图 7-12 所示。单击“确定”按钮进行搜索, 结果如图 7-13 所示。

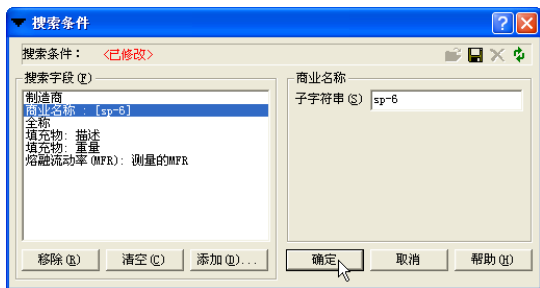


图 7-12 按商品名称搜索



图 7-13 按“商品名称”搜索的结果

3) 按全称进行搜索, 选择“搜索字段”中的“全称”, 在对应的“子字符串”中输入“ABS”, 如图 7-14 所示。单击“确定”按钮进行搜索, 结果如图 7-15 所示。可以看出, 材料库收录的所有 ABS 物料均搜索到。

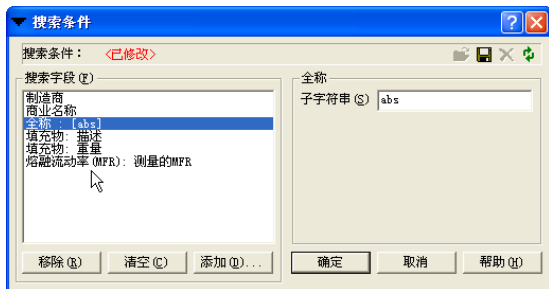


图 7-14 按全称搜索



图 7-15 按“全称”搜索的结果

4) 按填充物重量百分比进行搜索, 选择“搜索字段”中的“填充物重量”, 在对应的“子字符串”中输入“最小 10%, 最大 30%”, 如图 7-16 所示。单击“确定”按钮进行搜索, 结果如图 7-17 所示。可以看出, 材料库收录的所有含 10%~30% 填充物的物料均被搜索到。

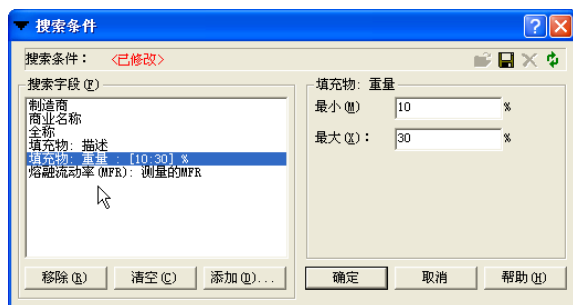


图 7-16 按填充物重量百分比进行搜索



图 7-17 按“填充物重量百分比”进行搜索的结果

在搜索出的众多物料中选择合适的物料，单击“详细内容”按钮，弹出物料参数对话框，如图 7-18 所示。

通过该对话框，操作者可以查看物料的收缩特性、填充物性能、推荐成型条件、流变性能、热性能、机械特性和 PVT 特性等详细参数性能，用于指导操作者对当前分析的工艺参数进行合理设定。

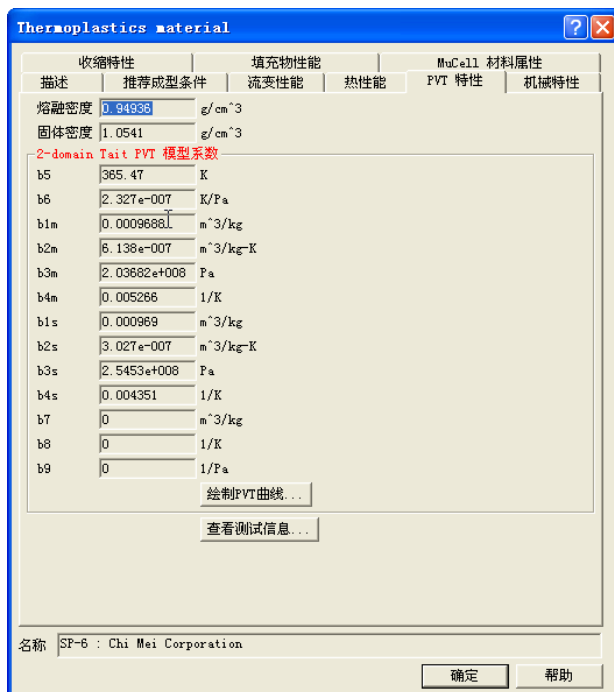


图 7-18 物料参数对话框

其中，PVT 特性栏提供“绘制 PVT 曲线”，单击该按钮弹出所选物料对应的 PVT 曲线，如图 7-19 所示。

该曲线描述物料压力 (P)、温度 (T) 和体积 (V) 的变化关系：在充填和后充填阶段，由于物料温度较高（对应曲线的右半部分，从右至左为充填和后充填阶段），物料体积减小，且趋势明显，压力越低趋势越明显，因此，如果该阶段的压力过低就会产生过量收缩，甚至充填不满而缺胶。



在流变性能栏提供“绘制黏度曲线”，单击该按钮弹出所选物料对应的黏度曲线，如图 7-20 所示。

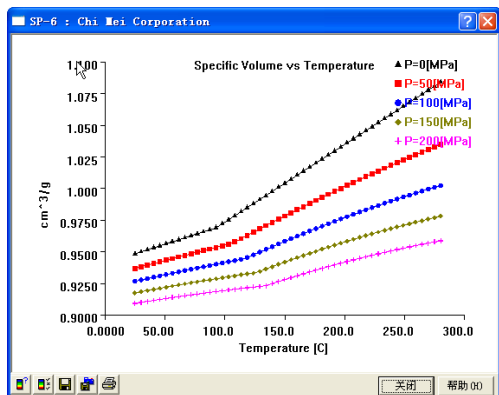


图 7-19 所选物料对应的 PVT 曲线

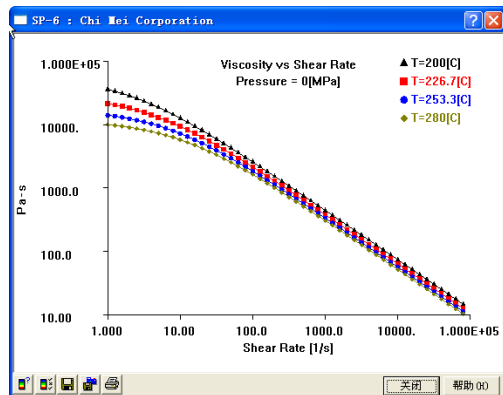


图 7-20 所选物料对应的黏度曲线

该曲线描述物料黏度、温度和剪切速率的变化关系。一般来说，黏度会随温度的升高而降低，这个现象我们很容易理解，但是黏度还会随剪切速率的增高而降低，这就是著名的“剪切变稀”现象。同时，该曲线还反映物料对温度和剪切速率变化的敏感程度。

材料的这些流变性对指导操作者合理设定注塑工艺参数，改善各种常见的注塑缺陷有着非常重要的意义。

7.3 成型工艺参数的设置

成型工艺参数是影响成型质量的重要因素，合理和适当地控制成型工艺参数可以大大提高产品质量。目前，CAE 分析的一个最重要的目的就是指导生产。因此，对于一个合格的 CAE 分析人员，掌握影响产品质量的成型工艺参数并有能力应用于产品质量优化是必需的。

7.3.1 成型工艺参数

合理的成型工艺可以保证塑料熔体良好塑化、顺利充模和冷却定型，从而生产出合格的塑料制品，而温度、压力和时间是影响成型工艺的三大参数体系。

(1) 温度

温度参数主要包括熔胶温度和模具温度。其中，熔胶温度影响塑料的塑化和充填能力，模具温度影响后充填和冷却定型。

1) 熔胶温度：指注塑时料筒的温度。熔胶温度高（在合理范围内），熔体黏度低（参考图 7-20），流动性好，同一个产品充填所用的压力小，即易于充填，产品不易缺胶，如图 7-21 所示。反之容易造成充填困难。

2) 模具温度：模具温度会影响熔体的充填流动能力、塑件的冷却速度和产品成型后的性能。例如，模具温度对于翘曲的影响非常明显。对于板类零件，特别是结晶性塑料（如 PP 等）板类零件尤为明显。图 7-22 显示了由于前后半模温度差异造成的板类零件的翘曲和翘曲的趋势。



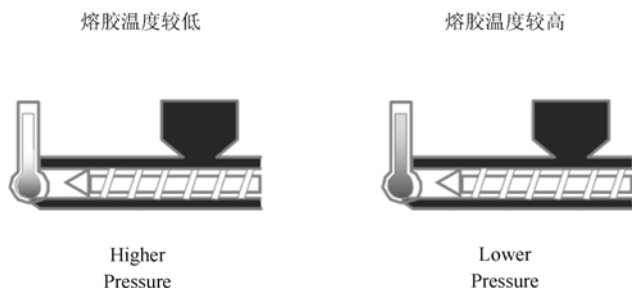


图 7-21 熔胶温度和注射压力的关系

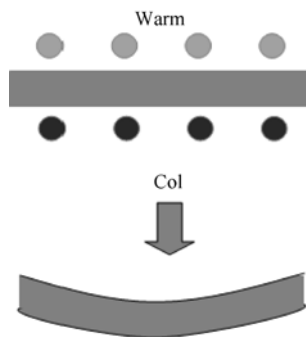


图 7-22 模具温度对产品翘曲的影响

(2) 压力

压力参数主要包括注射压力、保压压力和背压。

1) 注射压力：指螺杆轴向移动时对塑料熔体施加的压力。主要用于为熔体提供合适的充填速率以便充满模具型腔。在实际注塑中，过低的注射压力会导致产品缺胶、机械性能降低和产品的的外观质量降低等缺陷。

2) 保压压力：型腔充满后，进行保压补缩的压力。主要用于补缩以提高产品的密实程度，改善产品质量。保压压力对于产品的收缩和翘曲影响显著，如图 7-23 和图 7-24 所示。

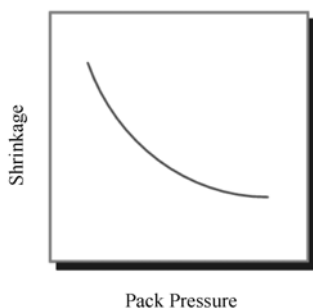


图 7-23 保压压力对收缩的影响

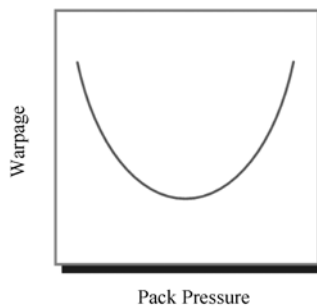


图 7-24 保压压力对翘曲的影响

3) 背压：熔胶时为保证熔胶密实和排出水气、挥发气体（例如聚氯乙烯会产生 HCl 气体，遇水成酸，腐蚀螺杆和模面）等影响产品质量的成分。

(3) 时间

时间参数主要包括注射时间、保压时间、冷却时间和开合模时间等，如图 7-25 所示。这些时间形成了一个生产周期。

1) 注射时间：注射开始到充满型腔的时间。注射时间和注射速度成反比。注射时间或速度对整个充填阶段影响重大，例如，注射时间短，制品充填过程中的冷凝层薄，利于充填；反之造成充填困难，如图 7-26 所示。

2) 保压时间：型腔充满后继续施加压力的时间。保压时间对产品的收缩影响重大，如图 7-27 所示。

3) 冷却时间：指塑件保压结束到定型开模所需要的时间。冷却时间越短，翘曲变形的机会越少。对半结晶性材料尤其明显（例如：PP、PE 等），如图 7-28 所示。



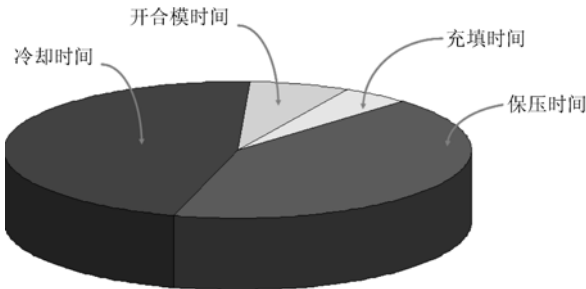


图 7-25 整个周期的时间分布

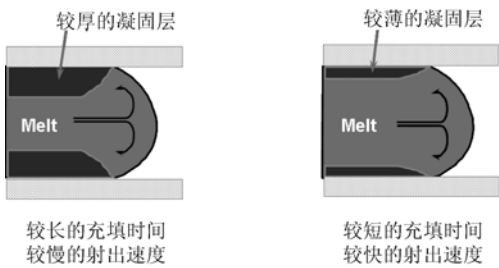


图 7-26 注射时间对产品冷凝层的影响

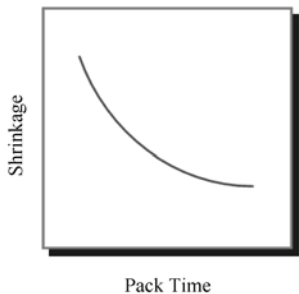


图 7-27 保压时间对产品收缩的影响

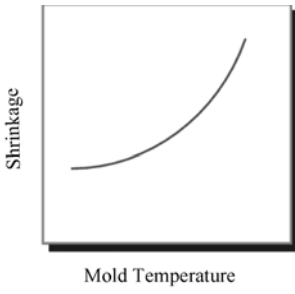


图 7-28 冷却时间对产品翘曲的影响

4) 开合模时间：模具打开到下个周期模具完全闭合经历的时间，包括顶出、取出产品、打脱模剂等。

7.3.2 成型工艺参数的设置

双击“方案任务视窗”里面的“成型条件设置（用户）”或执行“分析→成型条件设置”菜单命令，会弹出“成型参数设置向导”对话框，如图 7-29 所示，用于成型参数的设置。

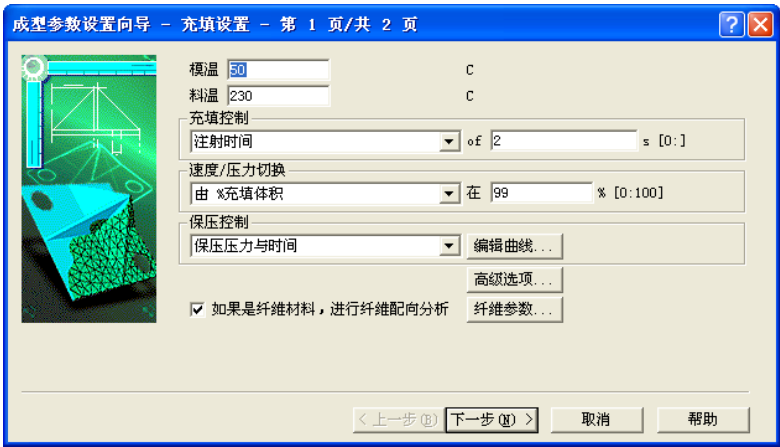


图 7-29 “成型参数设置向导—充填设置”对话框

值得一提的是，当我们选择不同的分析序列时，弹出的对话框的名称稍有变化，但内容基本相同，如图 7-30 和图 7-31 所示。

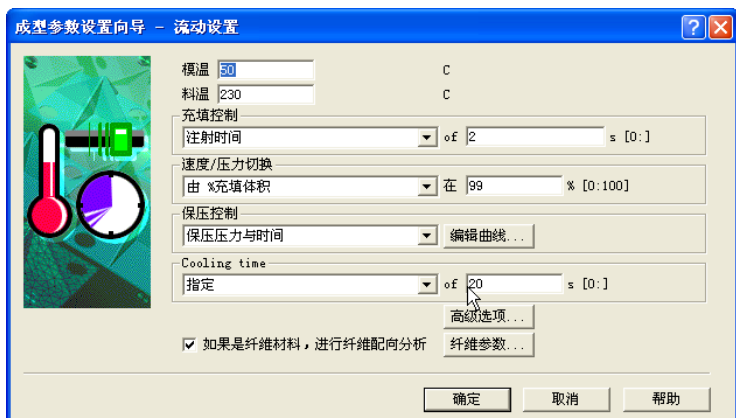


图 7-30 “成型参数设置向导—流动设置”对话框

对于充填来说，对话框为“成型参数设置向导—充填设置”，对于流动来说，对话框为“成型参数设置向导—流动设置”，对于冷却来说，对话框为“成型参数设置向导—冷却设置”，对于组合序列以最前面的分序列为准，如选择“流动+翘曲”时，对话框为“成型参数设置向导—流动设置”，而选择“冷却+流动+翘曲”时，对话框则为“成型参数设置向导—冷却设置”；另外，选择浇口位置分析序列时，弹出的对话框的内容有所不同。读者可分别试一下，进行比较。



图 7-31 “成型参数设置向导—冷却设置”对话框

对话框属于设置向导，包括很多内容。

模温和料温的设置简单，一般分析可参考所选材料对应的参数（Moldflow 4.1 材料库里有具体参考范围）。

“充填控制”选项提供自动、充填时间控制、流动率控制和螺杆速度曲线控制等多种选择。其中，螺杆速度曲线控制允许对曲线进行编辑设定。

“保压控制”选项提供充填压力与时间、保压压力与时间（常用）、液压压力与时间和机器最大压力与时间控制等选择，并允许对曲线进行细节上的编辑设定。

“冷却时间”选项提供自动和指定两种选择。

“高级选项”弹出对应的高级选项对话框，如图 7-32 所示。其中包括成型材料的选择和工艺参数的编辑、成型控制器的选择和参数编辑、注射成型机的选择和详细参数编辑、



模具材料的选择和属性（主要指密度、比热、导热系数和机械性能参数）编辑、解算参数的选择和编辑。

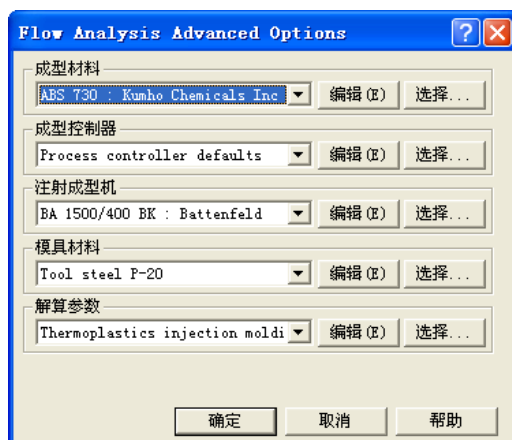


图 7-32 高级选项对话框

“纤维参数”应用于含各种纤维填充物的物料，主要用于选择各种用于纤维刚性棒在分析计算时的计算模型（读者可参考流体力学和计算机数值模拟相关书籍）。

由于不同分析序列选择需要设置的参数不尽相同，操作者按照向导对话框的“指示”进行设置即可。

对于成型工艺参数的设置要求较高，它不仅要求操作者对软件熟悉，还要对高分子物理、成型工艺参数的意义及其对产品质量的影响趋势、模具方面的基本知识和数值分析计算原理等诸多知识有一定的认识和把握。



8.1 浇口设计原则

浇口亦称进料口。是连接分流道与型腔的熔体通道。浇口的设计与位置的选择恰当与否，直接关系到塑件能否被完好地高质量注射成型。按浇口形状可分为扇形浇口、环形浇口、盘形浇口、轮辐式浇口、薄片式浇口、点浇口、潜伏浇口（隧道式浇口或剪切浇口）、护耳浇口（调整片式浇口或分接式浇口）。

浇口的形式很多，但无论采用什么形式的浇口，其开设的位置对塑件的成型性能及成型质量影响很大，因此，合理选择浇口的开设位置是提高塑件质量的一个重要设计环节。另外，浇口位置的不同还会影响模具的结构。选择浇口位置时，需要根据塑件的结构与工艺特征和成型的质量要求，并分析塑料原材料的工艺特性与塑料熔体在模内的流动状态、成型的工艺条件，综合进行考虑。

浇口设计原则总结如下。

（1）尽量缩短流动距离

浇口位置的选择应保证迅速和均匀地充填模具型腔，尽量缩短熔体的流动距离，这对大型塑件更为重要。

（2）避免熔体破裂现象引起塑件的缺陷

小的浇口如果正对着一个宽度和厚度较大的型腔，则熔体经过浇口时，由于受到很高的剪切应力，将产生喷射和蠕动等熔体断裂现象。有时塑料熔体直接从型腔的一端喷射到型腔的另一端，造成折叠，在塑件上产生波纹状痕迹或其他表面疵瑕缺陷。要克服这种现象，可适当加大浇口的截面尺寸，或采用浇口对着大型芯等冲击型浇口，避免熔体破裂现象的产生。

（3）浇口应开设在塑件壁厚处

当塑件的壁厚相差较大时，若将浇口开设在壁薄处，这时塑料熔体进入型腔后，不但流动阻力大，而且还易冷却，影响熔体的流动距离，难以保证充填满整个型腔。从收缩角度考虑，塑件壁厚处往往是熔体最晚固化的地方，如果浇口开设在薄壁处，那么壁厚的地方因液体收缩得不到补缩而会形成表面凹陷或缩孔。为了保证塑料熔体顺利充填型腔，使注射压力得到有效的传递，而在熔体液态收缩时又能得到充分的补缩，一般浇口的位置应开设在塑件的壁厚处。

（4）考虑分子定向的影响

塑料熔体在充填模具型腔期间，会在其流动方向上出现聚合物分子和填料的取向。垂直于流向和平行于流向之处的强度和应力引起的开裂倾向是有差别的，往往垂直于流向的方位强度低、容易产生应力开裂，在选择浇口位置时，应充分注意这一点。如图 8-1 所示塑件，底部圆周带有一金属环形嵌件，如果浇口开设在 A 处（直接浇口或点浇口），则此塑件使用



不久就会开裂，因为塑料与金属环形嵌件的线收缩系数不同，嵌件周围的塑料层有很大的周向应力之故；若浇口开设在 B 处（侧浇口），由于聚合物分子沿塑件圆周方向定向，使应力开裂现象大为减少。

（5）减少熔接痕提高熔接强度

由于浇口位置的原因，塑料熔体充填型腔时会造两股或两股以上的熔体料流的汇合，汇合之处料流前端是气体，且温度最低，所以在塑件上就会形成熔接痕。熔接痕处会降低塑件的熔接强度，影响塑件外观，在成型玻璃纤维增强塑料制件时尤其严重。如无特殊需要最好不要开设一个以上的浇口，以免增加熔接痕，如图 8-2 所示。图 8-2（a）为方环形塑件，开设两个侧浇口，在塑件上有两处可能会产生熔接痕，而图 8-2（b）为同一塑件开设一个侧浇口，则只有一处可能会产生熔接痕。

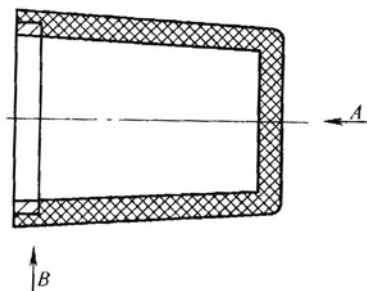


图 8-1 浇口位置对定向的影响

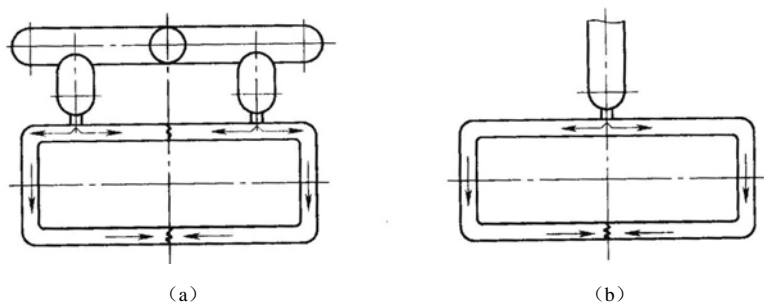


图 8-2 浇口位置对熔接痕的影响

为了提高熔接强度，可以在料流汇合之处的外侧或内侧设置一冷料穴（溢流槽），将料流前端的冷料引入其中，如图 8-3 所示。

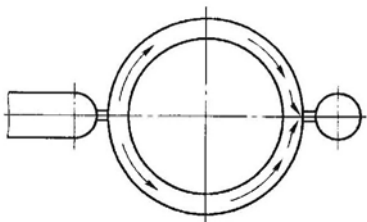


图 8-3 开设冷料穴提高熔接强度


8.2 最佳浇口位置设计

8.2.1 分析前处理

本节以第 3 章手机外壳塑件为例，介绍最佳浇口位置的设计。

在进行网格前处理以后，在网格状态统计中没有出现像自由边等错误以后，进行以下的操作。



步骤 1: 双击“方案任务视窗 (Study Tasks: mobilephone_study_gate location)”窗口中“fill”按钮 Fill，弹出“选择分析序列 (Set Analysis Sequence)”对话框。选择“Gate location”分析，单击“确定”按钮，如图 8-4 所示。

步骤 2: 在“分析任务窗口”中，在材料 PP: Generic Default (Generic PP: Generic Default) 按钮上单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择“选择材料 (Select Material)”，弹出如图 8-5 所示对话框。

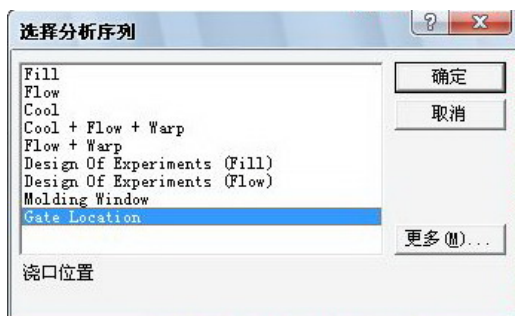


图 8-4 “选择分析序列”对话框



图 8-5 “选择材料”对话框

单击“搜索 (Search)”按钮，弹出“搜索条件 (Search Criteria)”对话框，选择“制造商 (Manufacturer)”，在“子字符串 (Substring)”的右文本框中输入“GE”，选择“全称 (Family Abbreviation)”，在“子字符串 (Substring)”文本框中输入“ABS+PC”，单击“确定”按钮。

步骤 3: 搜索结果如图 8-6 所示，选中所需要的“GE Plastics (USA): Cycoloy C2950”，单击“详细内容 (Details)”按钮，可以查看材料的各类属性，单击“选择 (Select)”按钮，返回如图 8-5 所示对话框，单击“确定”按钮。

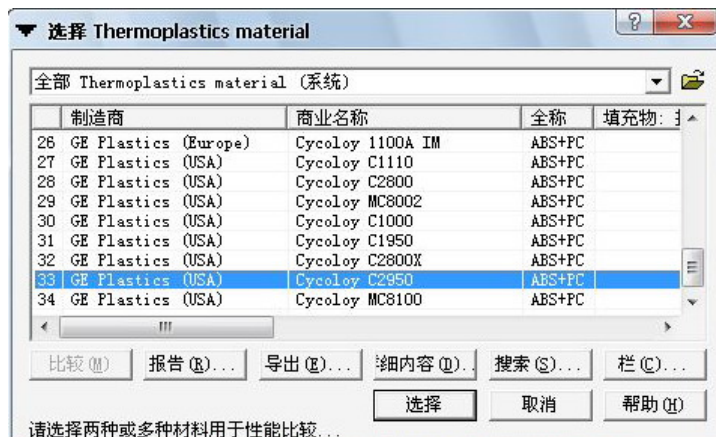




图 8-6 材料选择搜索结果

如果分析单浇口位置，初始分析时可以不设定进料点位置。而如果是多浇口分析，分析前可以在用户认为有把握的地方设置浇口。本例暂不设浇口。

步骤 4: 双击“方案任务视窗 (Study Tasks: mobile phone_study_gate location)”中的



“Process Settings (Default) |  成型条件设置 (缺省 (D))”按钮 (或在“Process Settings (Default) |  成型条件设置 (缺省 (D))”上单击鼠标右键, 在弹出的快捷菜单中选择“设定成型条件 (Set Process Settings...)”), 弹出如图 8-7 所示“成型参数设置向导—浇口位置设置”对话框。

步骤 5: 单击“选择 (Select)”按钮, 弹出各种型号的注射成型机。选择“搜索 (Search) → 添加 (Add)”, 选择“机器螺杆直径 (Machine screw diameter)”或“最大锁模力 (Maximum Machine Clamp Force)”等搜索条件, 单击“确定”按钮, 从列出的机型中选出自己所需要的注射成型机。

本例采用系统默认的注射成型机“缺省注射机 (Default Injection Molding Machine)”。模具温度和熔体温度也采用系统推荐的工艺参数来设定。

步骤 6: 单击“高级选项 (Advanced options)”, 弹出如图 8-8 所示的高级选项, 包括最大设计注射压力和最大设计锁模力, 本例均采用“自动缺省 (Automatic)”。单击“确定”按钮。



图 8-7 成型参数设置向导



图 8-8 最佳浇口位置高级设置

步骤 7: 提交求解器进行计算。

MPI/Gate location 模块的计算结果只有一个指标, 最佳浇口位置 (Best Gate Location), 如图 8-9 所示。通过该指标可以看出, 在壁厚变化处设置浇口最佳, 即以蓝色云图显示的区域。也可以从屏幕输出结果观察计算过程的一些信息, 并可得出系统推荐的浇口位置在节点 N7529 附近, 如图 8-10 所示。

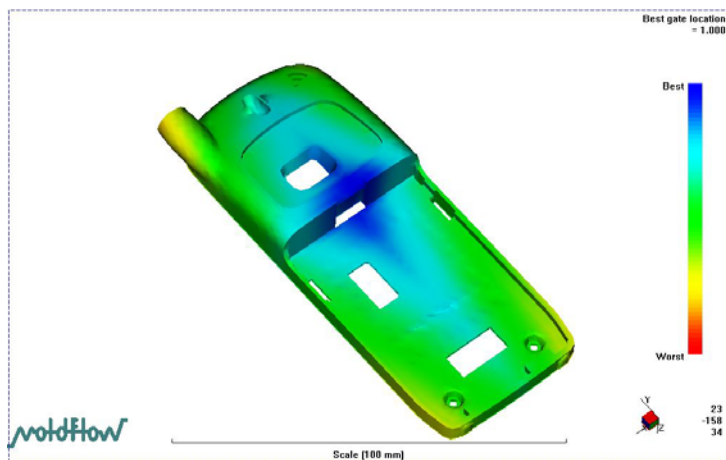


图 8-9 最佳浇口位置图



```
Copyright Moldflow Corporation and Moldflow Pty. Ltd. All Rights Reserved.
(C)2000 2001 2002 2003
This product may be covered by
    US patent 6,096,088 ,
    Australian Patent No. 721978 ,
    and foreign patents and pending applications

Gate Location Analysis

Version: mpi410 (Build 03203)

Analysis commenced at      Sat May 30 15:38:50 2009
Processing fusion mesh...
... finished processing fusion mesh

Maximum design clamp force      =      5600.18 tonne
Maximum design injection pressure =      140.00 MPa
Recommended gate location(s) are:
Near node                        =      7529

Execution time
Analysis commenced at      Sat May 30 15:38:50 2009
Analysis completed at      Sat May 30 15:40:13 2009
CPU time used                83.00 s
```

图 8-10 屏幕输出结果

8.2.2 产品初始成型分析

(1) 前处理

初始成型分析的模型可以在最佳浇口分析（Gate location） 分析模型基础上复制生成，这样便继承了最佳浇口分析（Gate location）中的模型网格单元和选择的材料等，因此，前处理可以得到简化。

步骤 1：在项目管理窗口“项目 ‘mobile phone’”下的“GYD_Study_gate_Location”上单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选择“拷贝复制”，如图 8-11 所示。管理窗口中复制了新的分析模型，可重命名为“GYD_Study_fill_1”，如图 8-12 所示。

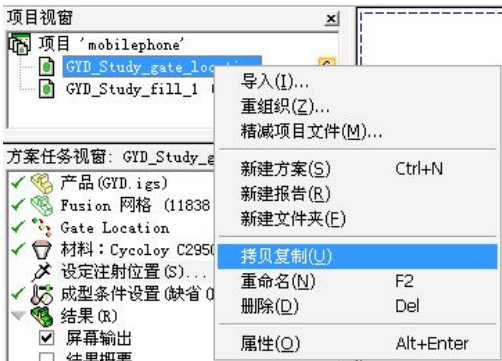


图 8-11 拷贝复制模型



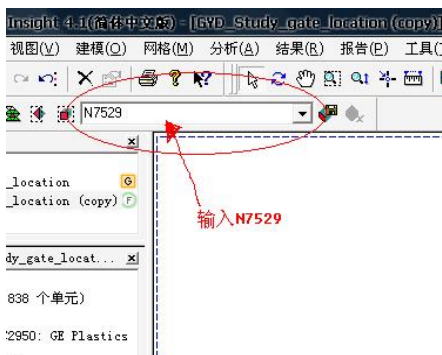
图 8-12 分析模型复制完成

(2) 分析类型设置

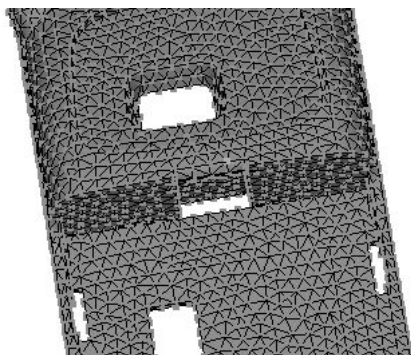
步骤 2：双击“方案任务视窗（Study Tasks: mobilephone）”中的“Gate Location”按钮，弹出“选择分析序列（Set Analysis Sequence）”对话框，选择分析类型为“充填（Fill）”。

(3) 浇口位置设定

步骤 3: 根据模块分析得出推荐的最佳浇口位置是节点 N7529 处, 在主界面的单元选择栏中输入“N7529”, 按回车键, 可看到手机模型中的直壁拐角处有一个以红色显示的节点, 即为节点 N7529, 如图 8-13 (a)、(b) 所示。



(a)





(b)

图 8-13 显示系统自动分析的最佳浇口

设想将浇口设在此处是不符合模具结构设计要求的, 因此参考了点 N7529, 在初始成型分析中, 将浇口设在 N7529 附近的 N8050 处, 如图 8-14 所示。

(4) 工艺参数设置

步骤 4: 双击“Study Tasks: GYD_study_Fill_1”中的“ 成型条件设置 (缺省 (D))”按钮, 或在“ 成型条件设置 (缺省 (D))”上单击鼠标右键, 在弹出的快捷菜单中选择“设置成型条件 (Set Process Settings)”, 弹出如图 8-15 所示的“成型参数设置向导—充填设置”对话框。

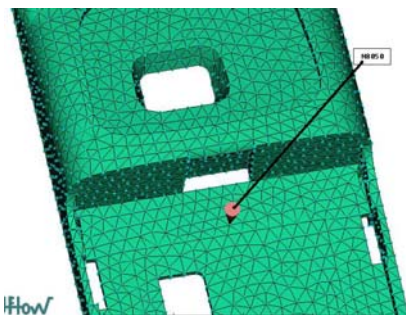


图 8-14 浇口位置



图 8-15 “成型参数设置向导—充填设置”对话框

注射机在注射阶段的控制方式采用默认的自动控制 (Automatic)。速度/压力转换 (Velocity/pressure switch-over) 采用自动控制 (Automatic)。保压控制 (Pack/holding control) 采用系统默认设置, 即保压压力与 V/P 转换点的填充压力相关联的曲线控制, 如图 8-16 所示, 主要原因是充填 (Fill) 分析时并未计算保压阶段, 所以该控制设置对计算没有影响。须强调的是, 实际成型过程也多采用保压压力值与时间的关系曲线进行控制充填压力与时间。

步骤 5: 单击图 8-7 中的“高级选项 (Advanced options)”按钮, 弹出如图 8-17 所示对



话框。仔细观察这一对话框的内容可以看到，其中的一些参数与前面保持很强的关联性。产品材料 GE plastics (USA): Cycoloy C2950 与分析任务窗口栏定义的一致，注射过程参数与上一对话框相同。注射机型号和求解器参数选择默认设置，模具材料选用 P-20 工具钢。设置完成后，单击“确定”按钮，返回如图 8-17 所示对话框，单击“确定”按钮。



图 8-16 保压控制曲线设置

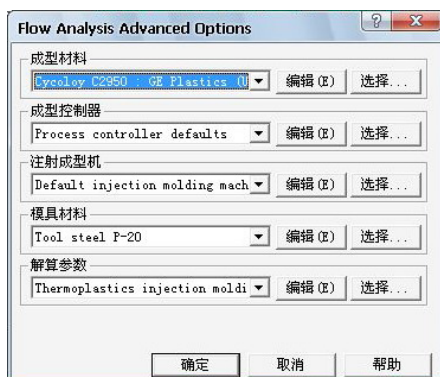


图 8-17 充填分析的高级选项

如果是纤维材料，在选择“如果是纤维材料，进行纤维配向分析 (Fiber orientation analysis if fiber material)”复选框后，则会在分析过程中进行纤维定向分析的计算，本例就采用默认设置。

步骤 6：提交计算。

(5) 计算结果分析

步骤 7：查看充填时间“Fill Time”，如图 8-18 所示。

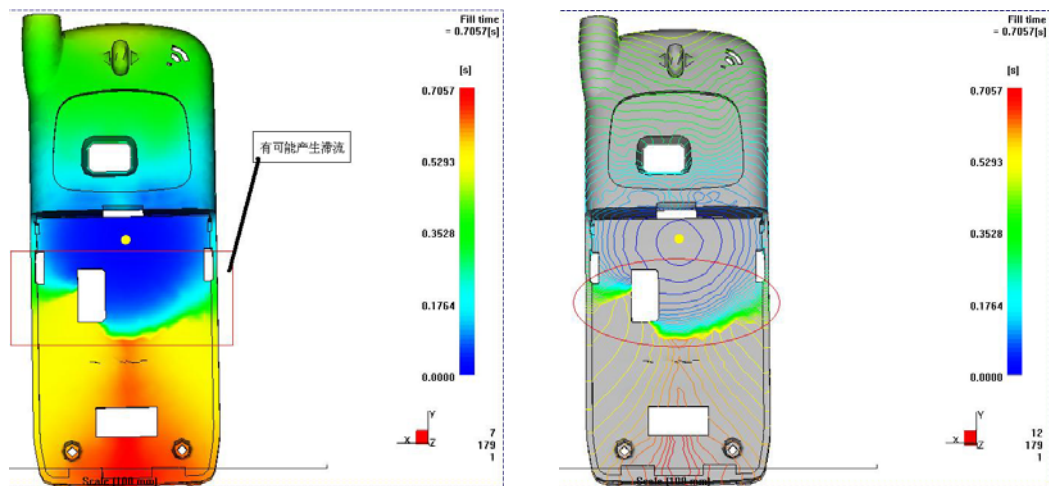


图 8-18 充填时间云图与等值线图

观察充填时间可以看出，手机底板的下端较上端后填充，关键问题在薄壁区域的第一个方孔处，云图颜色变化急剧，会产生滞流现象，为了更明显地看出流动的差别，可以通过将云图改变为等值线图显示。

步骤 8：将彩色云图改成等值线图。方法为选中分析任务栏中的“Fill Time”并单击鼠标

右键，在弹出的快捷菜单中选择“属性（Properties）”，单击“方式（Methods）”栏，选择“选择（Selection）→等值线（Contour）”项，单击“应用”按钮后再单击“确定”按钮。

步骤 9：查看浇口处压力与时间曲线（Pressure at injection: XY Plot），如图 8-19 所示。

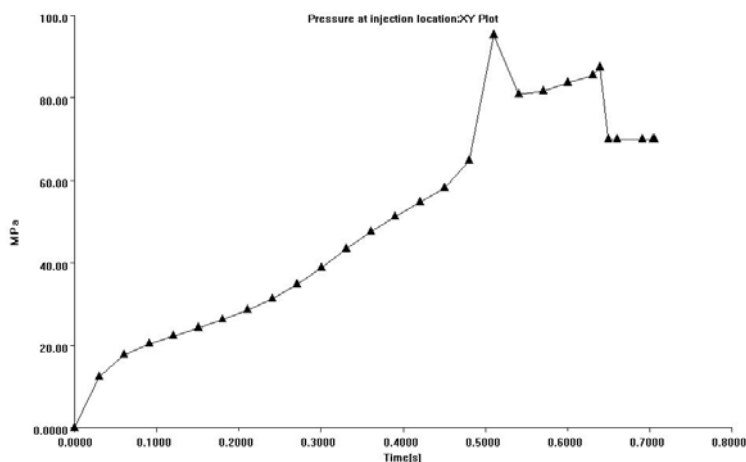


图 8-19 浇口处压力与时间曲线

浇口位置的压力与时间曲线反映了浇口处压力在注射、保压、冷却整个过程中的变化。本例主要是 Fill（填充）分析，曲线结果主要表现填充整个过程的压力变化情况。压力变化过程在 0.51s 时出现短暂降低，这一细节说明了流动的不平衡性。

步骤 10：查看熔接痕（Weld Lines），如图 8-20 所示。

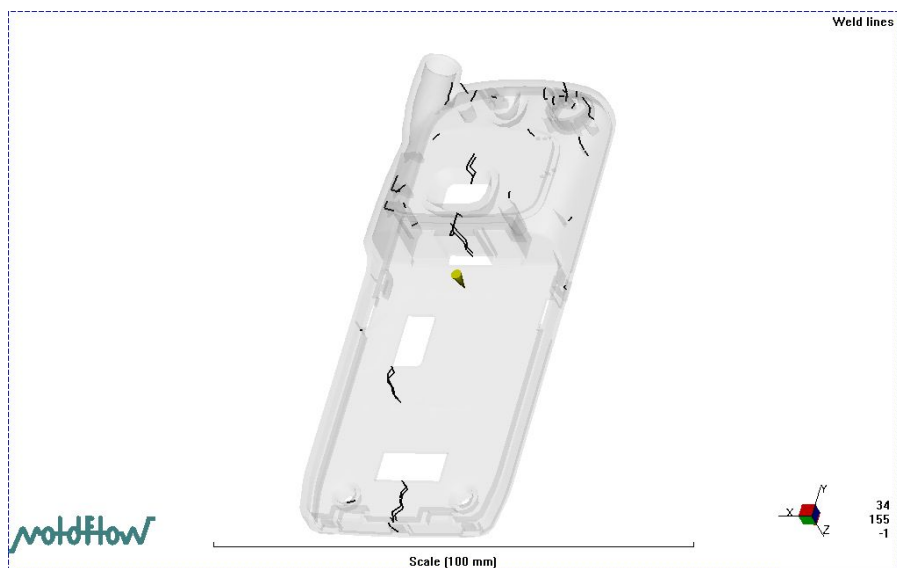


图 8-20 熔接痕位置

熔接痕的可见性不仅与熔接痕在产品上所处的位置有关，还与熔体的熔合性有关，而熔体的熔合性在计算分析中能通过熔合历史近似地估计，所以熔接痕外观的评价尺度主要是根据其出现的位置。本例中熔接痕的位置在薄壁的下端处，会造成产品的表观质量缺陷，有必



要对浇注系统进行优化。

8.2.3 原设计方案优化后的分析

从对初始方案的分析中，可以得出最初的浇口设计是不合理的，填充时间结果显示在薄壁处熔体流动相对缓慢，很容易造成滞流缺陷；熔接痕位置显示产品下端的熔接痕对产品质量会有较大影响；浇口处的压力变化不平衡，当然，前述分析的浇口压力并非实际生产压力值，原因是没有建立完整的浇注系统。在优化方案中将建立带有主流道、分流道和浇口的浇注系统。

步骤 1：优化设计方案是以初始方案为基础进行复制生成的，网格单元与材料同样被继承下来，新复制的模型重命名为“GYD_study_fill_1”，原来设定的浇口也保存下来了，因此，首先要将该浇口删除。

步骤 2：在主界面的单元选择栏中输入“N9390”，按回车键，网格模型中该节点以红色显示，如图 8-21 所示。下面的步骤是以此点为基准生成 1~4 处的不同节点。

步骤 3：单击节点 N9390。执行“建模 (Modeling) → 创建节点 (Create Nodes) → 偏移 (Offset)”菜单命令，如图 8-22 所示，将光标停在“基准坐标 (Base Coordinate)”框中，单击节点 N9390，框中显示该节点的坐标值。在类型 (Filter) 下拉列表框中选择下拉菜单中的“节点 (Node)”，在“偏移向量 (Offset Vector)”文本框中输入“0, 2, 0”，单击“应用”按钮，即生成了图 8-21 中的位置 1 节点。

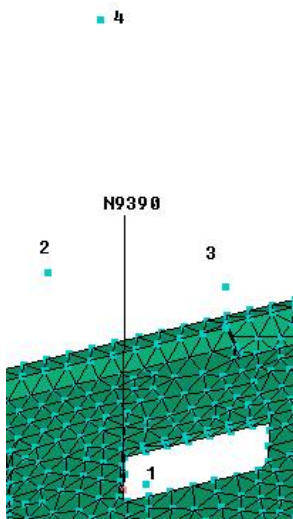


图 8-21 新创建节点的位置

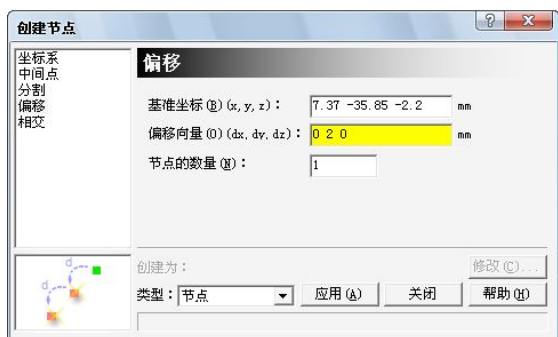


图 8-22 “创建节点”对话框

步骤 4：单击位置 1 节点，按照同样的方法，只是在“偏移向量 (Offset Vector)”文本框中输入“0, 0, -24”，单击“应用”按钮，即生成了图 8-21 中的位置 2 节点。

步骤 5：以位置 2 节点为基准，在“偏移向量”中输入“-7.37, 15.8, 0”，创建出图 8-21 中的位置 3 节点。以 3 为基准，在“偏移向量”中输入“0, 0, -30”，创建位置 4 节点，该点也是注射口位置。

浇注系统需要的节点全部创建完毕，现采用创建一维杆单元的方法创建浇注系统。在杆单元创建完毕后，应对其进行杆单元网格划分。



步骤6: 执行“网格 (Mesh) → 创建柱体网格 (Create Beams)”菜单命令, 如图 8-23 (a) 所示。图中“坐标 1”和“坐标 2”分别用于设置要创建杆单元的两端节点, 单击“修改 (Change)”按钮。系统会弹出如图 8-23 (b) 所示“赋新属性”对话框。

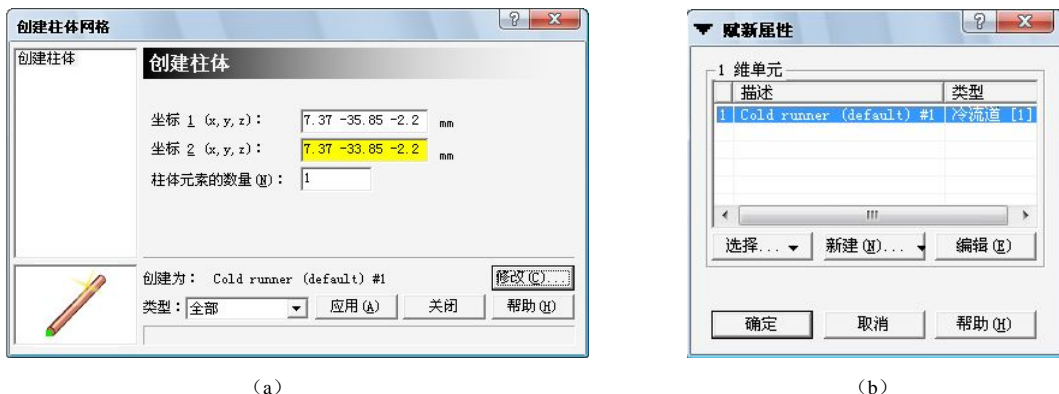


图 8-23 “赋新属性”对话框

步骤7: 单击节点 N9390 和位置 1 节点, 执行“修改 (Change) → 新建 (New) → 冷浇口 (Cold gate)”命令, 弹出如图 8-24 所示对话框。在“截面形状是”中选择“矩形”, 在“外形是”中选择“柱形[缺省]”。单击“编辑尺寸”按钮, 弹出“截面尺寸”对话框。在“宽度”文本框中输入“1.5”, 在“高度”文本框中输入“1”, 单击“确定”按钮, 逐级返回上一级对话框单击“确定”按钮, 直到返回如图 8-23 (a) 所示对话框, 单击“应用”按钮, 最终创建一个矩形的浇口。

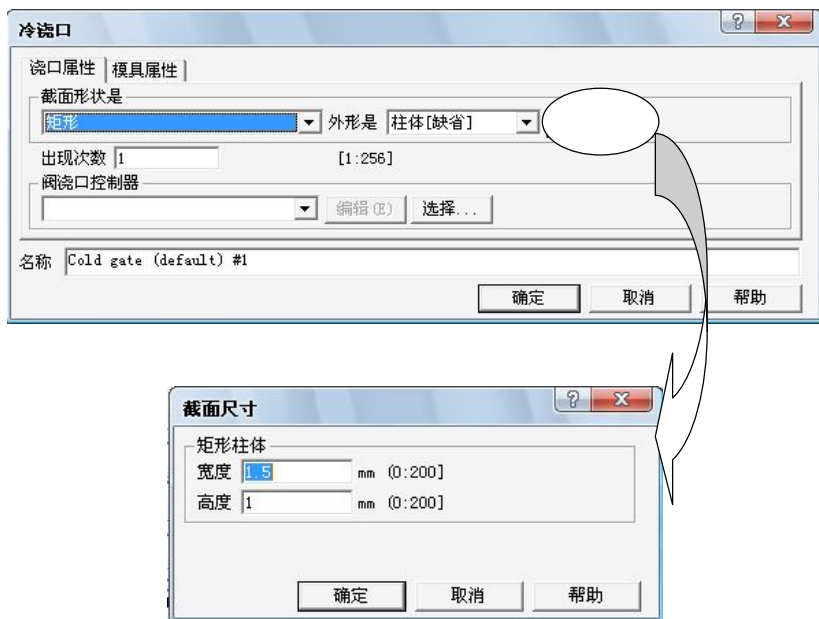


图 8-24 “截面尺寸”对话框

步骤8: 单击位置 1 节点和位置 2 节点, 执行“修改 (Change) → 新建 (New) → 冷流道 (Cold Runner)”命令, 弹出与图 8-24 所示结构相同的对话框, 对话框的左上角显示“冷



流道 (Cold Runner)”，在“截面形状是”中选择“圆形”，在“外形是”中选择“锥形由端部尺寸定”。单击“编辑尺寸”按钮，在“始端直径 (Start Diameter)”文本框中输入“2”，在“终端直径 (Edit Diameter)”文本框中输入“4”，逐级返回上一级对话框后单击“确定”按钮，最终创建一个锥形的冷流道。

步骤 9: 单击位置 2 与位置 3 节点，执行“修改 (Change) → 新建 (New) → 冷流道 (Cold Runner)”命令，在“截面形状是”中选择“矩形”，在“外形是”中选择“非锥形”，在流道尺寸的对话框中，在“宽度”文本框中输入“4”，在“高度”文本框中输入“3”，单击“确定”按钮，逐级返回上一级对话框后单击“确定”按钮，最终创建一个矩形的冷流道。

经以上几个步骤，完成了浇口、分流道和主流道组成的浇注系统的创建，创建后的浇注系统如图 8-25 所示。下面设置进料点位置。

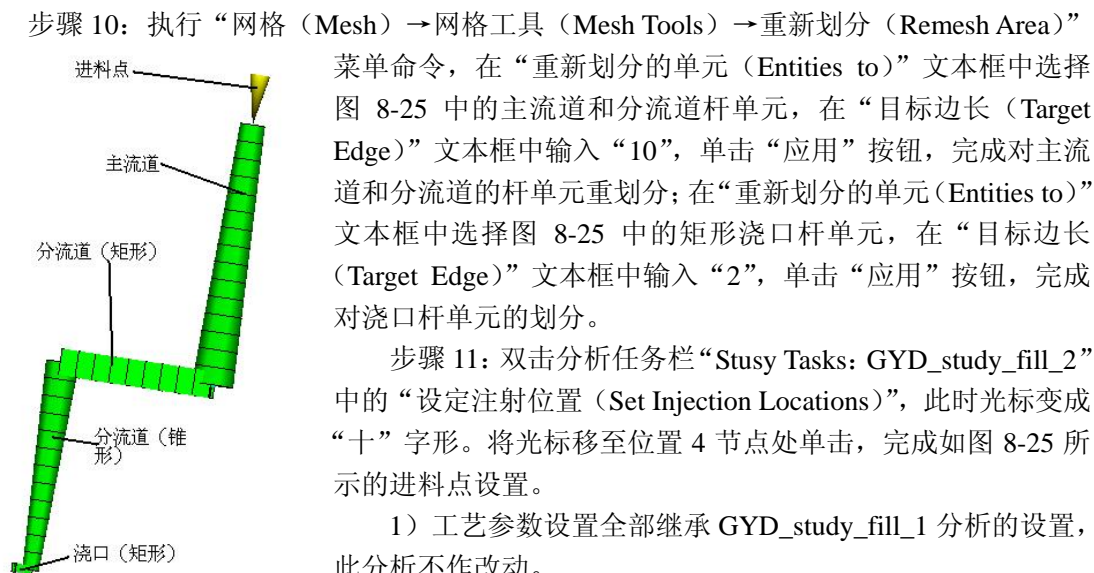


图 8-25 浇注系统示意图

步骤 10: 执行“网格 (Mesh) → 网格工具 (Mesh Tools) → 重新划分 (Remesh Area)”菜单命令，在“重新划分的单元 (Entities to)”文本框中选择图 8-25 中的主流道和分流道杆单元，在“目标边长 (Target Edge)”文本框中输入“10”，单击“应用”按钮，完成对主流道和分流道的杆单元重划分；在“重新划分的单元 (Entities to)”文本框中选择图 8-25 中的矩形浇口杆单元，在“目标边长 (Target Edge)”文本框中输入“2”，单击“应用”按钮，完成对浇口杆单元的划分。

步骤 11: 双击分析任务栏“Stusy Tasks: GYD_study_fill_2”中的“设定注射位置 (Set Injection Locations)”，此时光标变成“十”字形。将光标移至位置 4 节点处单击，完成如图 8-25 所示的进料点设置。

1) 工艺参数设置全部继承 GYD_study_fill_1 分析的设置，此分析不作改动。

2) 在建立了完整的浇注系统后，为保证计算分析的有效性，在分析计算前，必须检查产品与流道的连通性。

步骤 12: 执行“网格 (Mesh) → 连通性诊断 (Connectivity Diagnostic)”菜单命令，弹出如图 8-26 所示的对话框，单击产品或流道任意单元或节点，单击“显示”按钮。

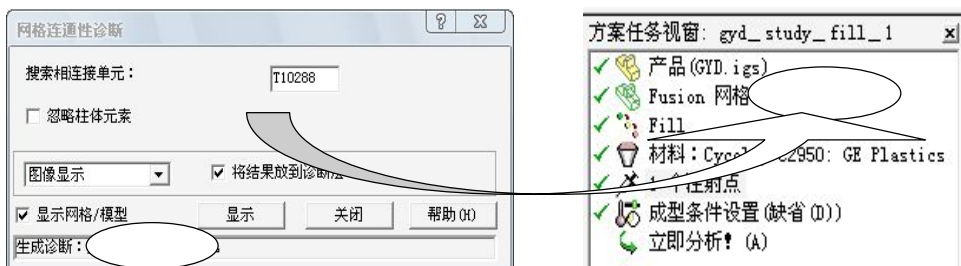


图 8-26 网格连通性诊断图

对话框的最下端一行可显示诊断结果，表示有多少个单元实体显示，如果数值与任务栏中的单元数相同，说明连通；在屏幕上，产品与流道均以红色显示也表示全部连通。

步骤 13: 提交计算。



8.2.4 计算结果分析

改进后设计方案的分析结果，可以参照初始分析的结果进行评价，同样选择填充时间、浇口处压力分布曲线和熔接痕位置来进行对比，这样能够比较明显地看出前后两方案的不同。

步骤 1：查看充填时间（Fill Time），如图 8-27 所示。

从充填时间等值线图可以明显地看到初始方案中的滞流现象已经不存在了，整体流动比较均匀。

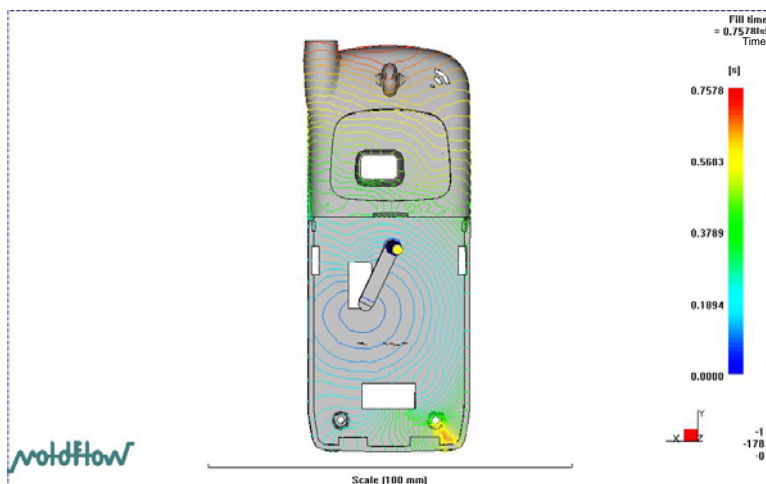


图 8-27 充填时间等值线

步骤 2：查看浇口处压力曲线（Pressure at injection location: XY Plot）。

如图 8-28 所示，浇口处的压力值也是随着熔体不断地填充而逐渐增加的，由 V/P 转换点开始，压力降为最大压力的 80%，说明执行了设置的压力值线，并没有出现初始设计中的压力不稳定的现象。

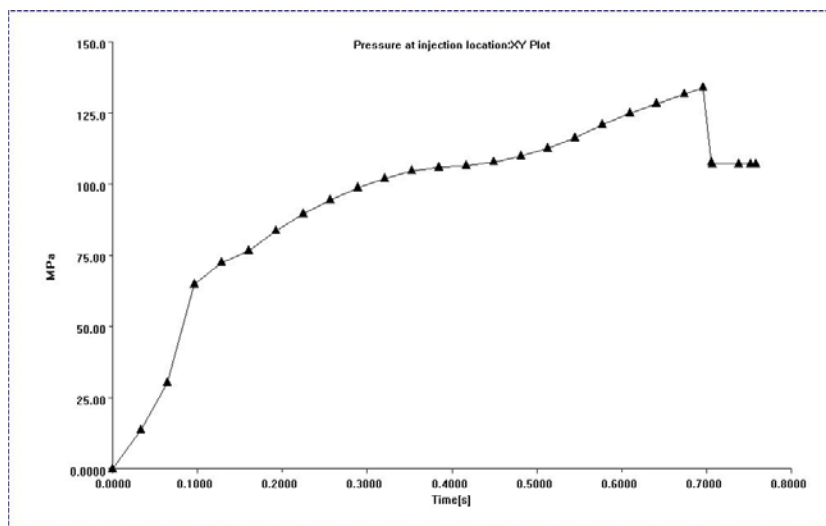


图 8-28 浇口处压力曲线



步骤 3: 查看熔接痕 (Weld Lines), 如图 8-29 所示。

图 8-29 中显示的是改进前后设计的熔接痕位置, 从整体看, 熔接痕数量有所减少; 另外, 在产品下端中间形成的熔接痕已消除, 但孔洞附近是必然会产生熔接痕的, 所以位置移到侧边, 这样对产品的质量影响有所下降。



图 8-29 设计改进前后的熔接痕位置

本节主要以一种手机外壳作为分析对象, 首先用最佳浇口 (MPI/Gate location) 模块自动分析手机底面模具的最佳浇口位置, 将系统推荐的浇口位置作为初始方案, 采用充填 (MPI/Fill) 模块验证其可行性, 结果发现存在严重的滞流现象。通过调整浇注系统的设计最终达到消除缺陷的目的。

9.1 概述

为了提高生产效率，降低成本，小型（包括部分中型）塑件往往采取一模多腔的结构形式。在这种结构形式中，浇注系统的设计应使所有的型腔能同时得到塑料熔体均匀的充填。换句话说，应尽量采用从主流道到各个型腔分流道的形状及截面尺寸相同的设计，即型腔平衡式布置的形式。倘若根据某种需要设计成型腔非平衡式布置的形式，则需要通过调节浇口尺寸，使各浇口的流量及成型工艺条件达到一致，这就是浇注系统的平衡，亦称浇口的平衡。

在一模多腔或者组合型腔的注塑模成型生产过程中，熔体在浇注系统中流动的平衡性是十分重要的。如果注塑熔体能够同时到达并充满模具的各个型腔，则称该浇注系统是平衡的。平衡的浇注系统不仅可以保证良好的产品质量，而且可以保证不同型腔内产品的质量具有一致性。

浇口平衡计算的思路是通过计算多型腔模具各个浇口的 BGV（Balanced Gate Value）值进行判断或计算的，浇口平衡时，BGV 值应符合下述要求：相同塑件的多型腔，各浇口计算出的 BGV 值必须相等；不同塑件的多型腔，各浇口计算出的 BGV 值必须与其塑件型腔的充填量成正比。

型腔浇口的 BGV 值为：

$$BGV = \frac{A_g}{\sqrt{L_r L_g}} \quad (9.1)$$

式中， A_g —— 浇口的截面积，单位为 mm^2 ；

L_r —— 从主中心至浇口的分流道的长，单位为 mm ；

L_g —— 浇口的长度，单位为 mm 。

相同塑件多型腔成型的 BGV 值可用下式表示：

$$BGV_a = BGV_b \quad (9.2)$$

不同塑件多型腔成型的 BGV 值可用下式表示：

$$\frac{W_a}{W_b} = \frac{BGV_a A_{ga} \sqrt{L_{rb} L_{gb}}}{BGV_b A_{gb} \sqrt{L_{ra} L_{ga}}} \quad (9.3)$$

式中， W_a 、 W_b —— 分别为型腔 a、b 的充填量（熔体质量或体积）；

A_{ga} 、 A_{gb} —— 分别为型腔 a、b 的浇口截面积，单位为 mm^2 ；

L_{ra} 、 L_{rb} —— 分别为从主流道中心到型腔 a、b 的流动通道的长度，单位为 mm ；

L_{ga} 、 L_{gb} —— 分别为型腔 a、b 的浇口长度，单位为 mm 。



在一般多型腔注射模浇注系统的设计中，浇口截面通常采用矩形或圆形点浇口，浇口截面积 A_g 与分流道截面积 A_r 的比值应取：

$$A_g : A_r = 0.07 \sim 0.09 \quad (9.4)$$

矩形浇口的截面宽度 b 为其厚度 t 的 3 倍，即 $b=3t$ ，各浇口的长度相等。在上述前提下，进行浇口的平衡计算。

目前，在实际的注射模设计与生产中，常采用试模的方法来达到浇口的平衡。

- (1) 首先将各浇口的长度、宽度和厚度加工成对应相等的尺寸。
- (2) 试模后检验每个型腔的塑件质量，检查晚充满的型腔其塑件是否产生补缩不足的缺陷。
- (3) 将晚充满塑件有补缩不足缺陷型腔的浇口宽度略微调大。尽可能不改变浇口厚度，因为浇口厚度的改变对压力损失较为敏感，浇口冷却固化的时间也就不一。
- (4) 使用同样的工艺方法重复上述步骤直至塑件质量满意为止。

Moldflow 软件提供了有效的流道平衡分析模块。将流道平衡分析模块与 Flow 等基本模块结合使用，可以优化浇注系统参数，并使优化后的系统达到以下一些基本要求：

- (1) 保证各型腔的填充在时间上保持一致；
- (2) 保证均衡的保压；
- (3) 保持一个合理的型腔压力；
- (4) 优化流道的容积，节省塑料熔体材料。

对于组合型腔的模具，由于各型腔几何形状和容积不同，浇注系统的平衡与否除了要考虑型腔和流道的布局方式，还要考虑流道截面尺寸的设计。合理的流道尺寸能够保证熔体在模具型腔内流动的平衡性。如图 9-1 所示，handspike 和 lock 在模具中组合充填，流道直径分别为 $\varnothing 3.024\text{mm}$ 和 $\varnothing 3.678\text{mm}$ 。该浇注系统的设计，可以基本保证熔体流道的平衡性。

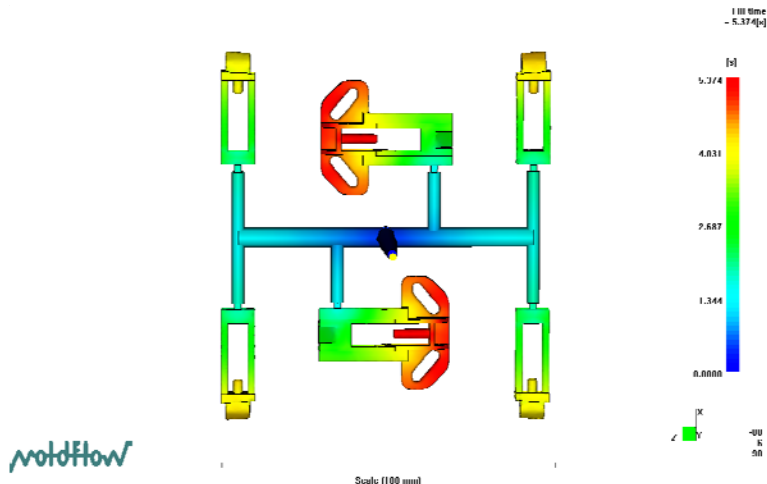


图 9-1 handspike 和 lock 组合型腔模具的流道尺寸

流道平衡分析仅仅针对 Midplane 和 Fusion 两类网格模型，平衡分析调整的是分流道的尺寸。在流道平衡分析中，系统通过在给定的约束条件下调整流道的尺寸，保证熔体在模具型腔内流动的平衡性。本章给出的实例是 handspike 以及其左右 lock 的组合型腔模具，如图 9-2 (a)、(b)、(c)、(d) 和图 9-3 所示。

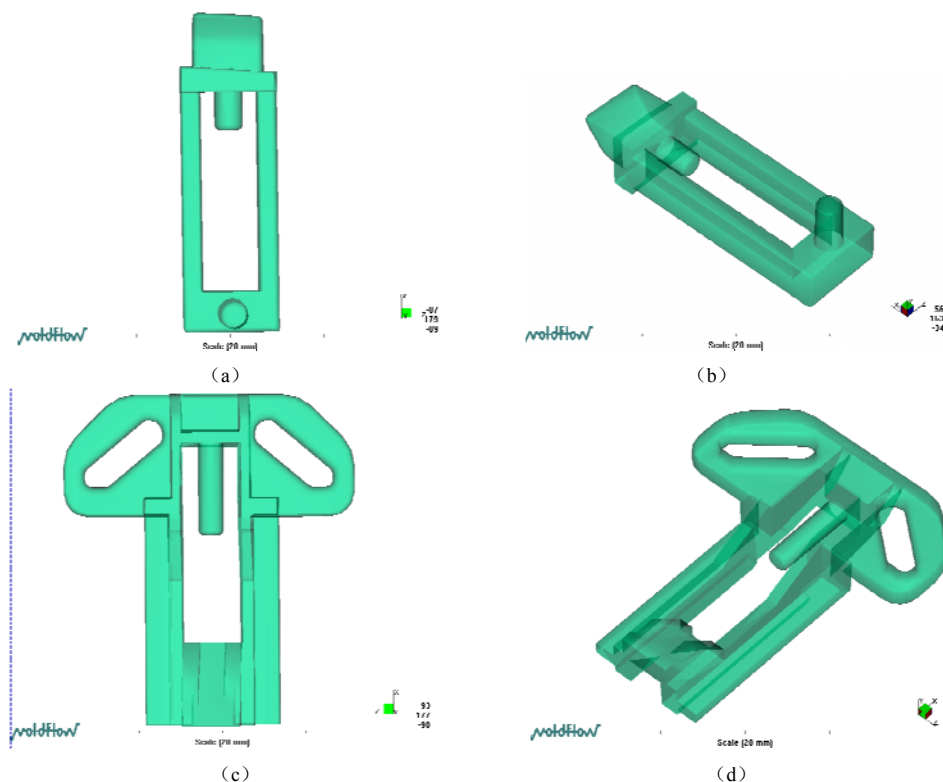


图 9-2 handspike 以及其左右 lock 的组合

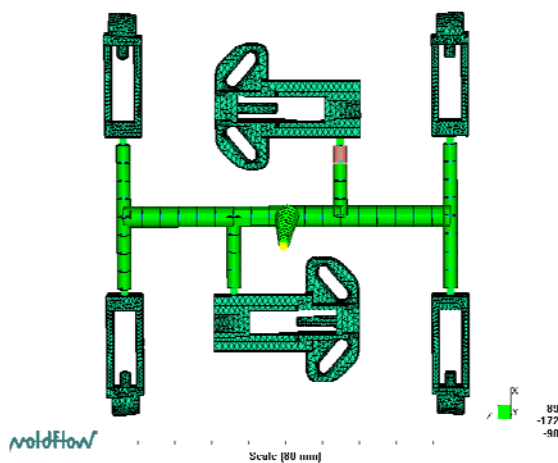


图 9-3 组合型腔布局

利用 MPI 进行分析的目的是分别确定 handspike 以及其左右 lock 分流道的截面尺寸，从而保证能够基本上在同一时刻充满型腔，实现熔体的平衡流动。

分析步骤如下：

- (1) 利用浇口位置分析找出 handspike 以及其左右 lock 的最佳浇口位置；
- (2) 初步创建完整的浇注系统进行充填分析，以获得流道平衡分析所需的一些约束条件；



(3) 设定约束条件, 在初步模型充填分析的基础上进行流道平衡分析, 从而得到优化的流道设计;

(4) 根据流动优化分析的结果, 调整和修改设计方案, 并对最后的方案进行分析验证。

9.2 lock-left 的浇口位置分析

由于给出的 handspike 及左右 lock 模型为非对称产品, 因此在进行组合型腔布局设计之前, 需要利用浇口位置分析找出 handspike 及左右 lock 的最佳浇口位置, 初步保证熔体在单独腔体内合理的流动和填充过程。

9.2.1 分析前处理

具体操作步骤如下

(1) 项目创建和模型导入

在指定的位置创建分析项目, 并导入 lock-left 的分析模型。

步骤 1: 创建一个新的项目。执行“文件”→“新建项目”命令, 此时, 系统会弹出“创建新的项目”对话框, 在项目名称一栏中输入项目的名称“设计 3”, 单击“确定”按钮, 默认的创建目录是 MPI 的项目管理路径, 如图 9-4 所示。

步骤 2: 从“光盘: 第九章浇注系统的平衡设计\设计 3\”中导入创建好的 lock-left 分析模型的 stl 文件 lock-l.stl。执行“文件”→“导入”命令, 在弹出的对话框中选择“lock-l.stl”文件, 单击“打开”按钮, 如图 9-5 所示。



图 9-4 创建新的项目

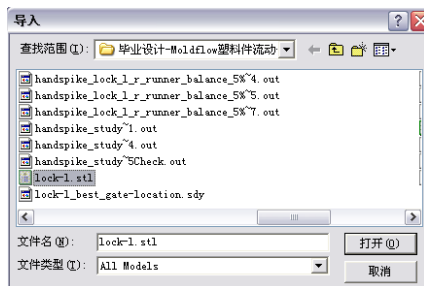


图 9-5 选择分析模型

步骤 3: 导入 lock-left 的基本模型, 如图 9-6 所示。

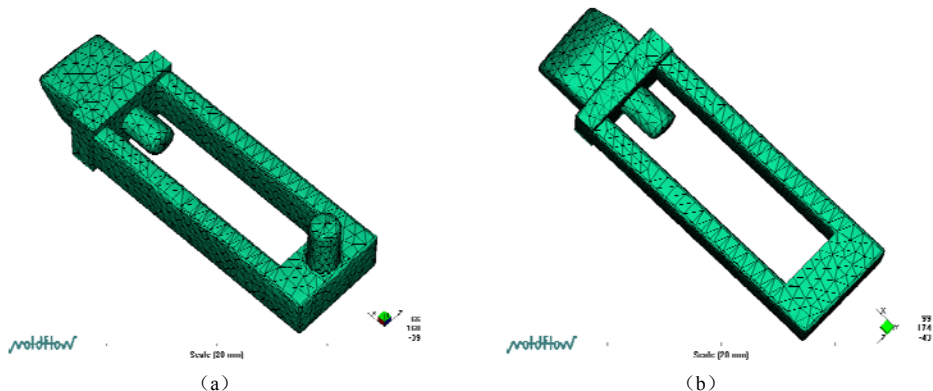


图 9-6 lock-left 的模型

(2) 查看网格模型信息

执行“网格”→“网格状态统计”命令，“网格诊断”信息如图 9-7 所示。如果存在网格缺陷，需要对 STL 模型进行网格划分和缺陷修改。

(3) 分析类型的设定

在导入的基本分析模型中，分析类型已经设置为 Gate Location 最佳浇口位置分析。

(4) 材料的选择

lock-1 采用的材料为 Delrin 500 HP 公司的 POM 材料，可以查看材料属性，如图 9-8 所示。

(5) 工艺过程参数的设定

工艺过程参数选用默认设置，如图 9-9 所示。

1) 注射成型机——默认设置为 Default injection molding machine。

2) 模温——默认值为 70℃。

3) 料温——默认值为 225℃。

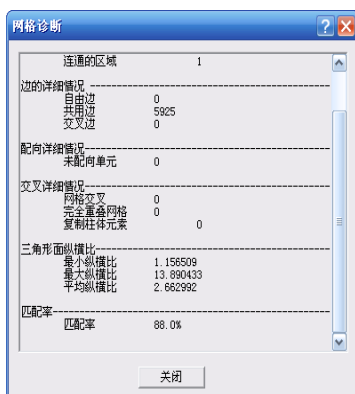


图 9-7 “网格诊断”信息

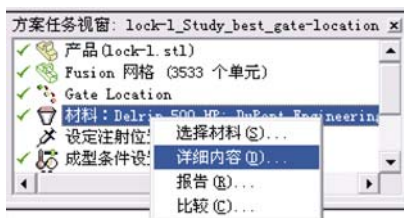


图 9-8 查看材料属性



图 9-9 默认的工艺过程参数

9.2.2 分析计算

在完成了分析前处理之后，即可进行分析计算，整个解算器的计算过程基本由 MPI 系统自动完成。双击任务栏窗口中的“立即分析!”一项，解算器开始计算，任务栏窗口显示如图 9-10 所示。

执行“分析”→“任务管理器”命令，可以看到任务队列，如图 9-11 所示。

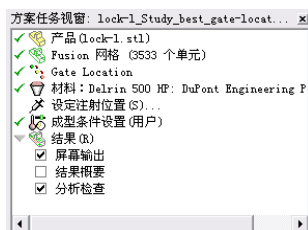


图 9-10 分析计算开始



图 9-11 任务队列

通过分析计算的输出信息，可以查看到计算中的相关信息，如图 9-12 所示。

```
Processing fusion mesh...
... finished processing fusion mesh

Maximum design clamp force           = 5600.18 tonne
Maximum design injection pressure     = 140.00 MPa
Recommended gate location(s) are:
Near node                             = 286
```

图 9-12 屏幕输出信息

1) Maximum design clamp force = 5600.18tonne = 7000.22tonne * 80%

2) Maximum design injection pressure = 140.00Mpa = 180Mpa * 80%

这些数据与分析前处理中工艺过程参数的设定是相符的。

9.2.3 结果分析

计算结束后，MPI 生成最佳浇口位置的分析结果，分析任务窗口如图 9-13 所示。

(1) 结果概要

结果概要以文字的形式给出最佳浇口位置的分析结果，如图 9-14 所示。

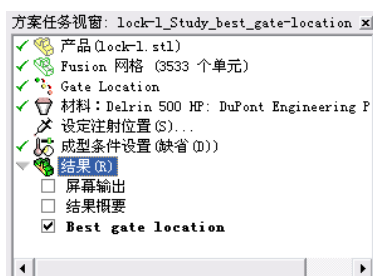


图 9-13 分析任务窗口

```
Recommended gate location(s) are:
Near node                             = 286

Execution time
Analysis commenced at                Fri Apr 27 12:40:14 2007
Analysis completed at                Fri Apr 27 12:40:27 2007
CPU time used                        12.89 s
```

图 9-14 分析结果

1) 从结果概要中可以看到：

Recommended gate location (s) are : Near node = 286

2) 推荐的浇口位置在节点 N286 附近。

Execution time: CPU time used 12.89s

分析计算时间: CPU 运算时间 12.89s。

在 lock-left 的网格模型中可以找到最佳浇口位置区域中心所在的节点，如图 9-15 所示，节点 N286 在 lock-left 的侧面。

(2) 最佳浇口位置

最佳浇口位置的图形显示结果如图 9-16 所示。

结果显示中蓝色的区域是最佳的浇口位置区域，红色的区域是最不合理的浇口位置区域，绿色的区域则介于两者之间。

考虑到模具设计的合理性以及熔体在型腔内流动的平衡性，将浇口位置设定在图 9-16 中圈选区域。



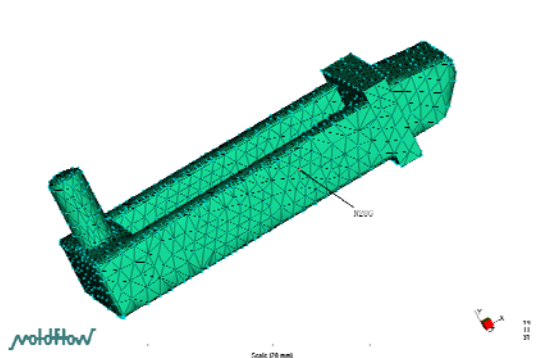


图 9-15 最佳浇口位置的中心节点

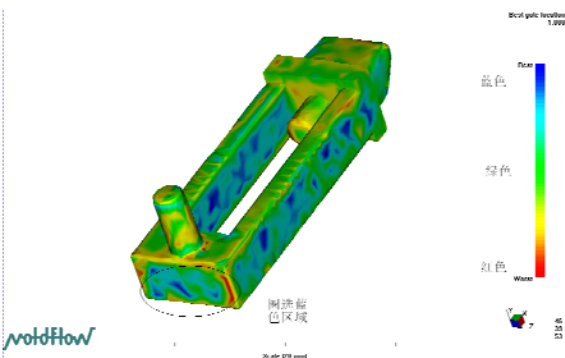


图 9-16 最佳浇口位置

9.3 lock-right 的浇口位置分析

在确定了 lock-left 的浇口位置之后,接下来要分析 lock-right 合理的浇口位置。

9.3.1 分析前处理

lock-right 分析前处理的操作步骤和参数位置与 lock-left 的浇口位置分析基本一致。

操作步骤

(1) 导入模型

在项目管理窗口中导入 lock-right 的基本分析模型。

步骤 1: 在项目管理窗口中,右击项目“设计 3”,执行“导入”菜单命令,从“光盘:第九章浇注系统的平衡设计/设计 3/”中导入创建好的 lock-right 分析模型的 lock-r.stl,在弹出的对话框中选择 lock-r.stl 文件,单击“打开”按钮,如图 9-17 所示。

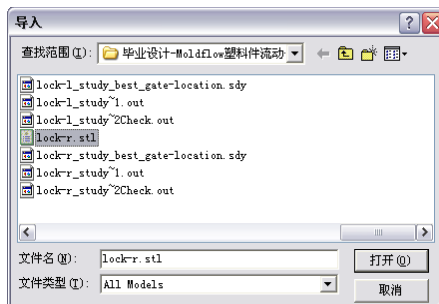


图 9-17 选择分析模型

步骤 2: lock-right 的基本分析模型被导入,如图 9-18 所示。

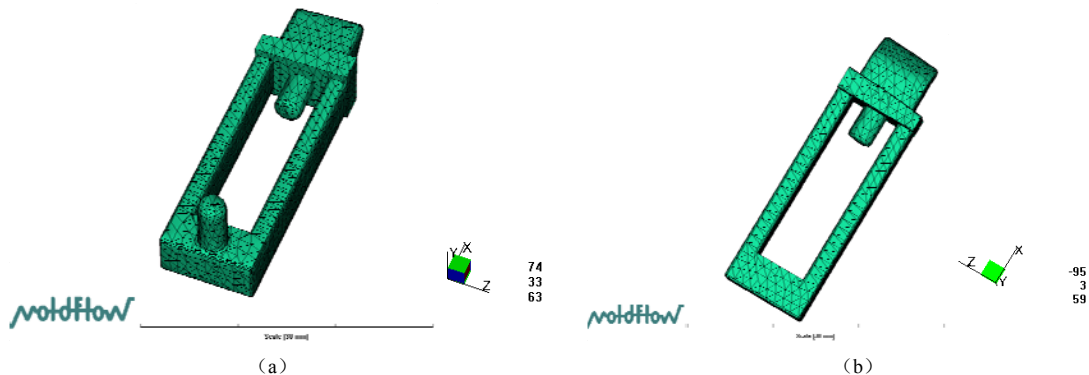


图 9-18 lock-right 模型

(2) 设定其他参数



lock-right 分析模型其他参数的设置与 lock-left 的前处理方法一致。

- 1) 分析类型为 Gata Location;
- 2) 材料为 Delrin 500 HP 公司的 POM 材料;
- 3) 工艺过程参数选用默认值。

注射成型机——默认设置为 Default molding machine。

模温——默认值为 70℃。

料温——默认值为 225℃。

9.3.2 结果分析

前处理结束后，直接进行分析计算，MPI 生成最佳浇口位置的分析结果。

(1) 结果概要

结果概要以文字的形式给出最佳浇口位置的分析结果，如图 9-19 所示。

```
Version: mpi410 (Build 032003)

Maximum design clamp force      = 5600.18 tonne
Maximum design injection pressure = 140.00 MPa
Recommended gate location(s) are:
    Near node                    = 298

Execution time
Analysis commenced at          Fri May 11 20:38:48 2007
Analysis completed at          Fri May 11 20:39:02 2007
CPU time used                   13.44 s
```

图 9-19 结果概要

从结果概要中可以看到：

- 1) Recommended gate location (s) are : Near node = 298

推荐的浇口位置在节点 N298 附近。

- 2) Execution time: CPU time used 13.44s

分析计算时间：CPU 运算时间 13.44s。

在 lock-right 的网格模型中可以找到最佳浇口位置区域中心所在的节点是 N298，如图 9-20 所示。

(2) 最佳浇口位置

最佳浇口位置的图形显示结果如图 9-21 所示。

与 lock-left 结果类似，结果显示蓝色区域是最佳浇口位置区域，红色区域是最不合理的浇口位置区域，绿色的区域则介于两者之间。

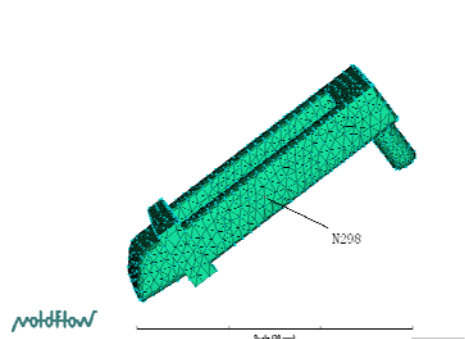


图 9-20 最佳浇口区域的中心节点

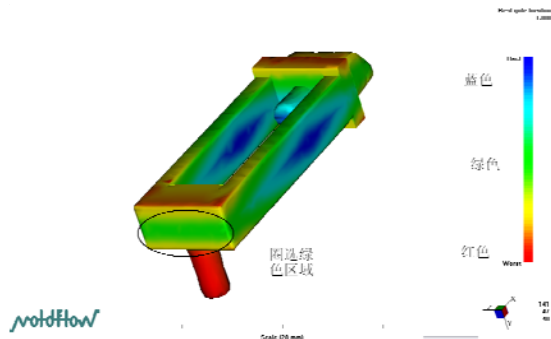


图 9-21 最佳浇口位置

同样考虑到模具设计的合理性以及熔体在型腔内流动的平衡性,将浇口位置设定在图 9-21 中的圈选区域。

9.4 handspike 的浇口位置分析

在确定了 lock-left 和 lock-right 浇口位置分析后,接下来要分析 handspike 合理的浇口位置。

9.4.1 分析前处理

具体操作步骤如下

(1) 导入模型

在项目管理窗口中导入 handspike 的基本分析模型。

在项目管理窗口中,右击项目“设计 3”,执行“导入”菜单命令,从“光盘: /设计 3/”中导入创建好的 handspike 分析模型的 handspike.stl,在弹出的对话框中选择 handspike.stl 文件,单击“打开”按钮。如图 9-22 所示。

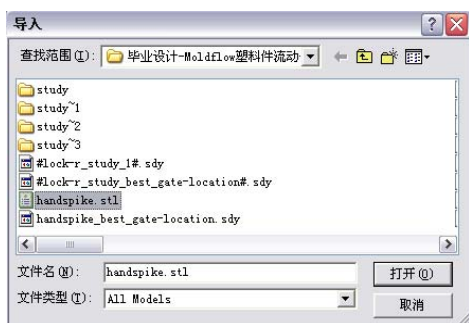


图 9-22 选择分析模型

handspike 的基本分析模型被导入,如图 9-23 所示。



图 9-23 handspike 模型

(2) 设定其他参数

handspike 模型其他参数的设置与 lock-left 的前处理方法一致。

- 1) 分析类型为 Gata Location;
- 2) 材料为 Delrin 500 HP 公司的 POM 材料;
- 3) 工艺过程参数选用默认值。

注射成型机——默认设置为 Default molding machine。

模温——默认值为 70℃。

料温——默认值为 225℃。

9.4.2 结果分析

前处理结束后,直接进行分析计算,MPI 生成最佳浇口位置的分析结果。



(1) 结果概要

结果概要以文字的形式给出最佳浇口位置的分析结果，如图 9-24 所示。

```
Version: mpi410 (Build 03203)

Maximum design clamp force          = 5600.18 tonne
Maximum design injection pressure    = 140.00 MPa
Recommended gate location(s) are:
Near node                            = 1084

Execution time
Analysis commenced at               Fri May 11 20:37:56 2007
Analysis completed at               Fri May 11 20:38:10 2007
CPU time used                       13.67 s
```

图 9-24 结果概要

从结果概要中可以看到：

1) Recommended gate location (s) are : Near node = 1084

推荐的浇口位置在节点 N1084 附近。

2) Execution time: CPU time used 13.67s

分析计算时间：CPU 运算时间 13.67s。

在 handspike 的网格模型中可以找到最佳浇口位置区域中心所在的节点是 N1084，如图 9-25 所示。

(2) 最佳浇口位置

最佳浇口位置的图形显示结果如图 9-26 所示。

结果显示蓝色区域是最佳浇口位置区域，红色区域是最不合理的浇口位置区域，绿色的区域则介于两者之间。

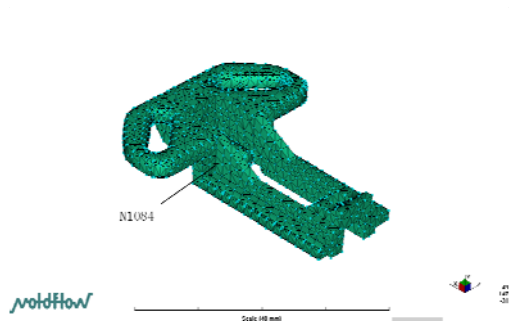


图 9-25 最佳浇口区域的中心节点

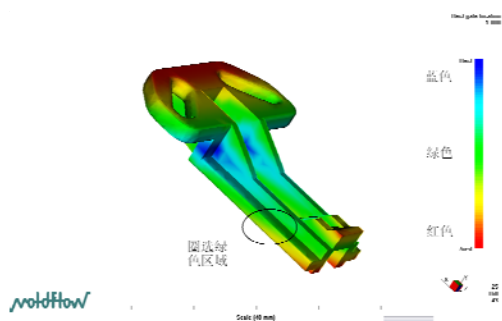


图 9-26 最佳浇口位置

同样考虑到模具设计的合理性以及熔体在型腔内流动的平衡性，将浇口位置设定在图 9-26 中所示的圈选区域。

9.5 组合型腔的充填分析

handspike-lock 组合型腔浇注系统的平衡设计，需要在初步设计的基础上进行。也就是说，首先给出一个初步的设计方案，在对初步设计进行分析的基础上，寻找设计中存在的问题（流动不平衡达到什么程度），从而进行设计方案的调整和修改。而且，经过对初步设计方案的分析，可以为进一步的流动平衡分析提供必要的分析参数及约束条件（平衡压力等）。

handspike-lock 组合型腔模具的初步设计方案如图 9-27 所示，通向 lock-left, lock-right



和 handspike 的流道直径均为 4mm。



图 9-27 初步设计方案

9.5.1 分析前处理

组合型腔的充填（Fill）分析是在 lock-left, lock-right 和 handspike 的最佳浇口位置分析的基础上进行的，主要包括以下内容：

- 从最佳浇口位置分析中导入基本网格模型；
- 组合模型的布局；
- 分析类型的设定；
- 浇注系统的建立；
- 工艺过程参数的设定。

(1) 基本网格模型的复制导入

在 lock-left, lock-right 和 handspike 最佳浇口位置分析的基础上，复制网格模型。

步骤 1：基本分析模型的复制。在项目管理窗口中右击已经完成的 lock-left 最佳浇口分析“lock-l_Study_best_gate-location”，在弹出的快捷菜单中执行“复制”命令，复制完成的项目管理窗口如图 9-28 所示。

步骤 2：分析任务重命名。

将新复制的分析模型重命名为“handspike_lock_l_r_original_unbalanced”，重命名之后的项目管理窗口、分析窗口及层管理窗口如图 9-29 所示。

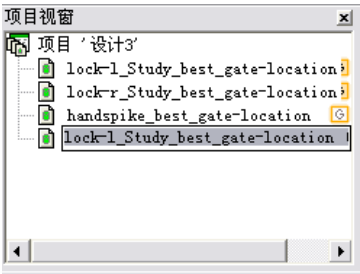


图 9-28 基本分析模型复制完成

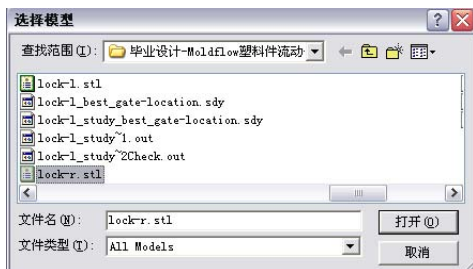


图 9-29 设置基本分析模型

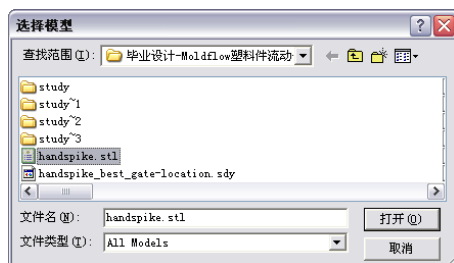


从分析任务窗口中可以看到，lock-left 最佳浇口位置分析的所有模型相关参数的设置被复制。

步骤 3：导入 lock-right 的网格模型。在完成 lock-left 的分析模型复制之后，需要在分析项目 handspike_lock_l_r_original_unbalanced 中再次导入 lock-right 和 handspike 的网格模型，选中刚刚创建的项目 handspike_lock_l_r_original_unbalanced 分析，再执行“文件”→“添加”命令，系统弹出如图 9-30 所示的“选择模型”对话框。



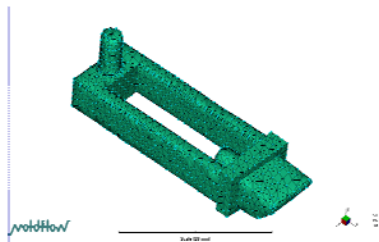
(a)



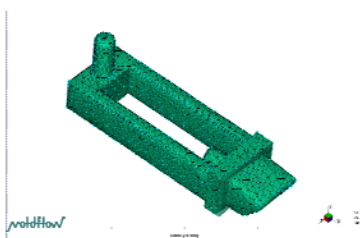
(b)

图 9-30 “选择模型”对话框

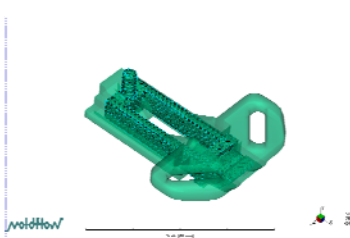
在对话框中选择当前分析项目文件夹，然后选择 9.3 和 9.4 节中刚刚完成的 lock-right 和 handspike 最佳浇口位置分析 lock-r_Study_best_gate-location.sdy 和 handspike_Study_best_gate-location.sdy，单击“打开”按钮，则 lock-right 和 handspike 的网格模型被导入，模型显示窗口如图 9-31 (a)、(b)、(c) 所示。



(a)



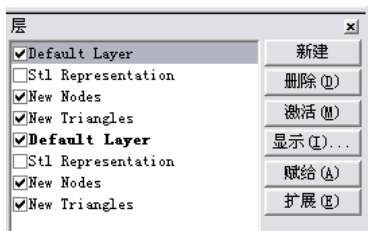
(b)



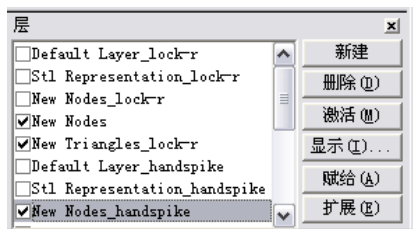
(c)

图 9-31 网格模型被导入

此时层管理窗口如图 9-32 (a) 所示，为了有效地区分 lock-left，lock-right 和 handspike 模型，重命名后的层管理窗口如图 9-32 (b) 所示。



(a)



(b)

图 9-32 层管理窗口



(2) 组合型腔的布局

lock-left, lock-right 和 handspike 的网格模型被复制导入后,要通过 MPI 系统中的建模功能,将 lock-left, lock-right 和 handspike 的网格模型进行合理布置。

lock-left, lock-right 和 handspike 的基本位置关系如图 9-27 所示。

步骤 1: handspike 沿 X 轴正方向移动 20mm,在层管理窗口中,仅选择“New Node”和“New Triangles_handspike”两层,选择全部三角形单元和节点,再执行“建模”→“移动/复制”→“平移”命令,在弹出的对话框内输入移动向量(22 0 0),如图 9-33 所示,单击“应用”按钮。

步骤 2: 将 handspike 网格模型关于 YZ 平面及参考基准点进行镜像。如图 9-34 所示,单击“应用”按钮。



图 9-33 移动 handspike

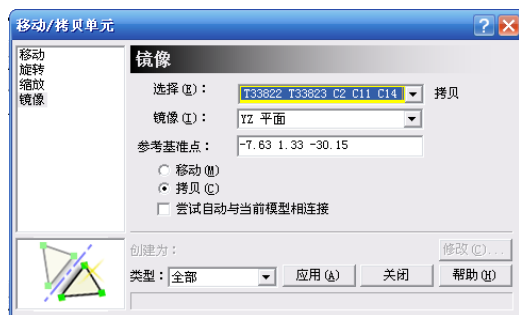


图 9-34 镜像 handspike

步骤 3: lock-left, lock-right 位置的设置与 handspike 类似。得到如图 9-35 所示的组合型腔。

(3) 分析类型的设定

将产品的分析类型设置为充填。充填分析的目的是初步模拟熔体在组合型腔内的流动过程,为进一步的流道平衡分析收集参数。

(4) 浇注系统的建立

lock-left, lock-right 和 handspike 组合型腔模具系统由主流道、分流道及侧浇口组成,如图 9-36 所示。

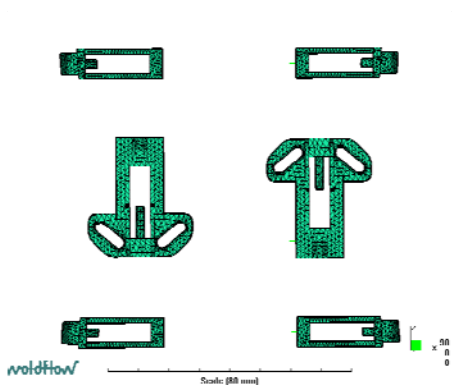


图 9-35 组合型腔布局

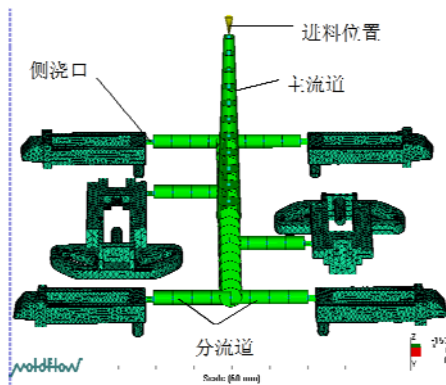


图 9-36 浇注系统



创建 handspike 的侧浇口中心线

根据 9.4 节的分析结果, 选择 handspike 的浇口位置为节点 N14978, 首先创建浇口中心线另外一个点, 执行“建模”→“创建节点”→“偏移”命令, 基准点为 N14978, 点①相对节点 N14978 的距离为 (2, 0, 0), 创建结果如图 9-37 所示。

利用节点 N1084、点①创建中心曲线, 执行“建模”→“创建曲线”→“直线”命令, 如图 9-38 所示, 分别选择节点 N14978 和点①, 单击“修改”按钮, 设置浇口属性。

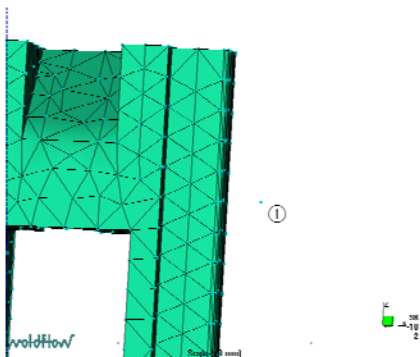


图 9-37 handspike 浇口中心线节点

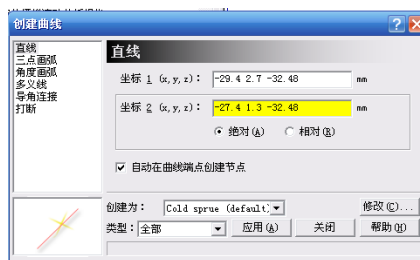


图 9-38 创建浇口中心线

在“赋新属性”对话框中创建新的曲线属性, 执行“新建”→“冷浇口”命令, 如图 9-39 所示。

在如图 9-40 所示的“冷浇口”对话框中设置冷浇口属性。

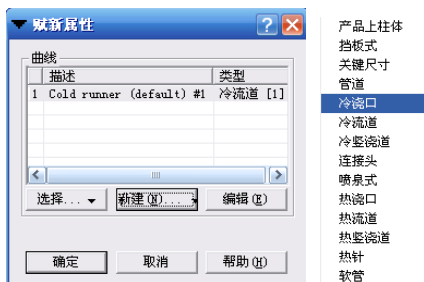


图 9-39 设置中心线属性

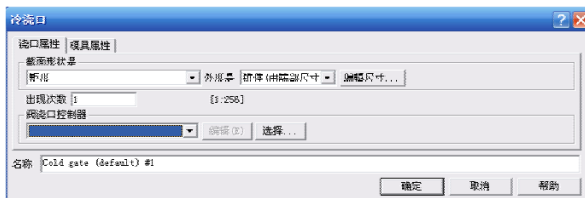


图 9-40 设置冷浇口属性

具体参数设置如下:

- 1) 截面形状是为“矩形”;
- 2) 外形是“锥体”(由端部尺寸定);
- 3) 出现次数为“1”;
- 4) 阀浇口控制器采用默认值。

再次单击图 9-40 中的“编辑尺寸”按钮, 会弹出如图 9-41 所示的“截面尺寸”对话框, 具体参数的设置如下:

- 1) 始端宽度为 0.7mm;
- 2) 始端高度为 2mm;
- 3) 终端宽度为 0.7mm;
- 4) 终端高度为 2mm。



单击“确定”按钮。

1) 创建 lock-left 和 lock-right 的侧浇口中心线，方法与 handspike 方法一致。

2) 创建分流道的中心线。

点①，点②如图 9-42 所示。



图 9-41 “截面尺寸”对话框

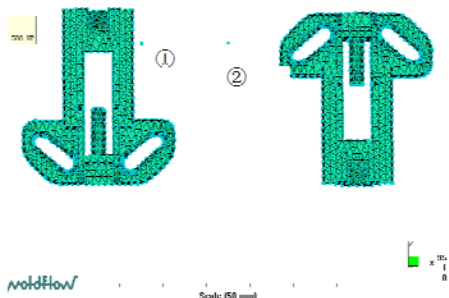


图 9-42 创建分流道

执行“建模”→“创建曲线”→“创建直线”命令，如图 9-43 所示，分别选择端点①和端点②，取消对“自动在曲线端点创建节点”复选框的选择，单击“修改”按钮，设置浇口形状，弹出“赋新属性”对话框，如图 9-44 所示。



图 9-43 创建分流道中心线



图 9-44 “赋新属性”对话框

选择属性“Cold runner (default) #1”，单击“编辑”按钮，编辑其属性，具体参数的设置与浇口设置基本一致，仅仅是形状采用直径为 4mm 的圆柱形，如图 9-45 所示。

单击“编辑流道平衡约束”按钮编辑流道平衡约束，选择约束力方法为“不受约束的”，如图 9-46 所示。流道平衡分析计算过程中，MPI 会根据约束条件调整流道的直径尺寸。

固定的——流道平衡分析过程中不能调整流道尺寸；不受约束的——流道平衡分析中系统自动确定流道尺寸，用户没有约束；受约束的——需要用户给出流道直径允许变化的范围。



图 9-45 分流道截面尺寸设定



图 9-46 流道平衡分析中直径的约束条件



设置完成后，返回如图 9-43 所示对话框，单击“应用”按钮生成中心线。使用同样的方法创建与之对称的 handspike 分流道中心线和 lock-left, lock-right 分流道中心线，创建结果如图 9-47 所示，将分流道中心线置于新建层 Runner 中。

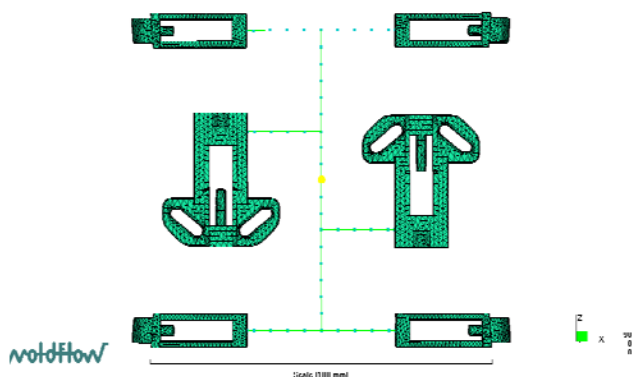


图 9-47 生成分流道中心线

(5) 创建主流道中心线

主流道的长度为 55mm，形状是锥形，小端直径是 3mm，大端直径是 6mm，中心线属性为冷竖浇道，具体参数的设置如图 9-48 和图 9-49 所示。



图 9-48 主流道形状

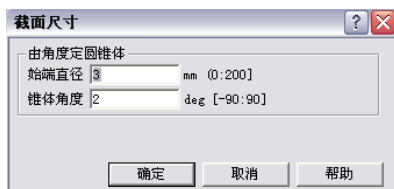


图 9-49 形状参数

创建结果如图 9-50 所示，将中心线置于新建层 Sprue 中。

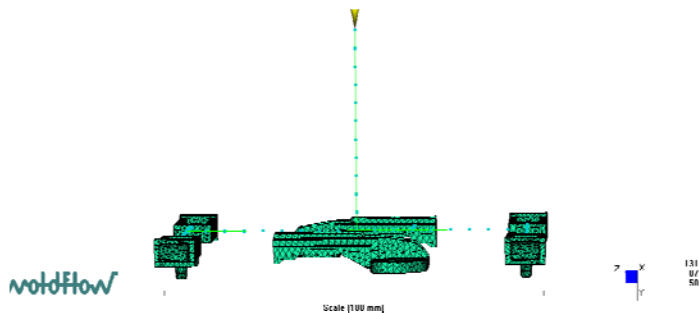


图 9-50 主流道中心线

(6) 杆单元的划分

在层管理窗口中仅仅显示 Gate 层，对侧浇口进行网格划分，如图 9-51 所示，执行“网格”→“生成网格”命令，设置杆单元大小为 2mm，如图 9-52 所示，单击“生成网格”按钮。



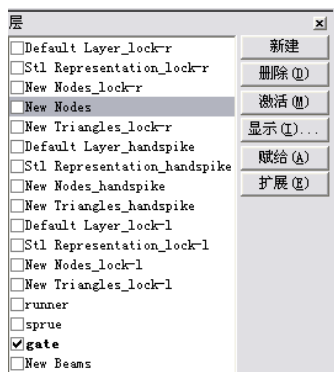


图 9-51 浇口杆单元生成前



图 9-52 浇口杆单元大小的设置

使用同样的方法对分流道和主流道进行杆单元划分，杆单元大小为 2mm，最终结果如图 9-53 所示。

(7) 浇注系统与产品网格模型的连通性检查

层管理窗口中显示 lock-left, lock-right 和 handspike 所有三角形单元和浇注系统杆单元，执行“网格”→“连通性”命令，系统弹出“网格连通性诊断”对话框，如图 9-54 所示。

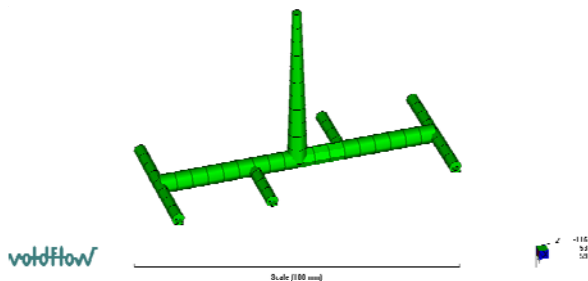


图 9-53 浇注系统

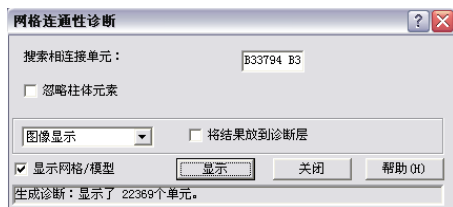


图 9-54 “网格连通性诊断”对话框

选择任意一个三角形作为起始单元，单击“显示”按钮，得到网格连通性诊断结果，如图 9-55 所示，所有网格均显示为红色，表示相互连通。

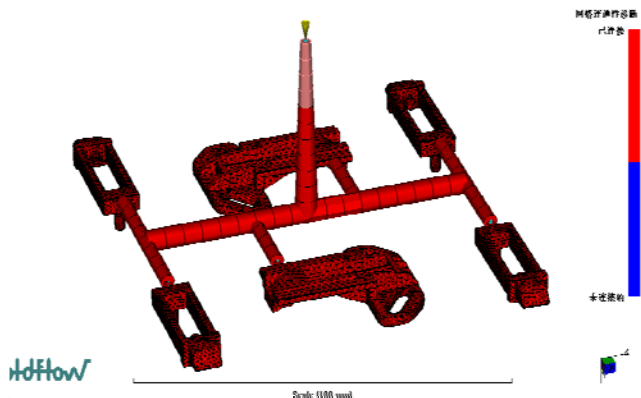


图 9-55 所有单元的连通性检查

浇注系统创建完成之后，必须进行网格模型的连通性检查，如果发现浇注系统与产品网



格模型不连通的现象，其产生原因一般是由于浇口位置与产品网格模型连接处存在多余节点。产生这种情况是使用者在创建浇口中心线时，没有取消对“自动在曲线端点创建节点 (Automatically create nodes at end points of curve)”复选框的选择，从而出现了重复节点。修改方法比较简单，删除第一个杆单元和重复的节点，利用节点 N14978 和下一个杆单元的端点创建一个新的杆单元即可。

(8) 设置进料点位置

在完成了浇注系统各部分的建模和网格杆单元划分之后，要设置进料点的位置。在分析任务窗口中，双击“设定注射位置”，单击进料口节点，如图 9-56 所示，选择完成后单击工具栏中的“保存”按钮。

分析任务窗口中显示进料口设置成功，如图 5-57 所示，浇注系统创建完成。

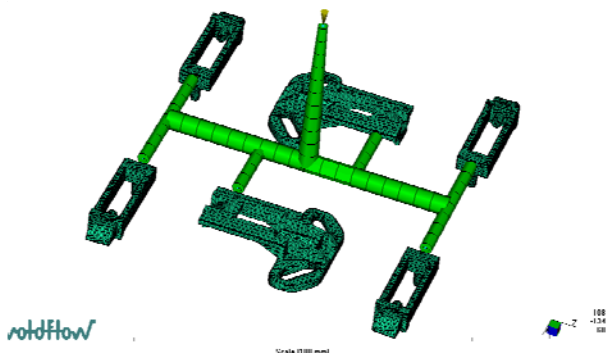


图 9-56 设置进料口位置



图 9-57 分析任务窗口

(9) 工艺参数的设置

由于 lock-left, lock-right 和 handspike 组合型腔填充的目的是查看流道不平衡性的程度，以及获得流道平衡分析所需要的平衡压力约束，所以参数设置如下：

执行“分析”→“成型参数设置向导”命令，或者是直接双击任务栏窗口中的“成型条件设置”一栏，系统会弹出如图 9-58 所示对话框。



图 9-58 成型参数设置向导

- 1) 模度，采用默认值 70℃；
- 2) 料温，采用默认值 225℃，该温度是指熔体进入模具型腔时的温度；
- 3) 充填控制，采用系统自动控制，当然用户也可以根据实际情况给出其他控制方法和参数；



4) 注塑机螺杆由速度控制向压力控制的转换点, 即 V/P 转换点, 为了获得进一步流道平衡分析的平衡压力约束参数, 这里选用完成填充的百分比控制, 制定填充比为 100%;

5) 保压控制, 本案例采用默认设置;

6) 高级选项, 这里包含一些注塑材料、注塑过程控制方法、注塑机型号、模具材料、解算模块参数的信息, 此处选用默认值;

7) 如果是纤维材料, 则会在分析过程中进行纤维定向分析的计算, 相关的参数选用默认值。

单击“完成”按钮, 结束过程参数的设置, 分析任务窗口显示如图 9-59 所示。



图 9-59 工艺过程参数设置完成

9.5.2 分析计算

在完成了 handspike-lock 组合型腔的分析前处理之后, 即进行分析计算, 双击任务栏窗口中的“立即分析!”一项, 解算器开始计算。

在分析计算过程产生的输出信息中, 填充分析过程信息如图 9-60 所示。

在图 9-60 中可以发现, 在充模的最后阶段, 压力在短时间内发生了较大的变化, 由 18.92MPa 上升到 23MPa 以上, 这是流道出现不平衡的一个现象。

如图 9-60 和图 9-61 所示, V/P 转换点与参数设置相符, 发生在 100%填充率时, 两个型腔在 5.370s 左右充满型腔。

Filling phase: Status: U Velocity control					
P = Pressure control					
U/P = Velocity/pressure switch-over					
Time	Volume	Pressure	Clamp force	Flow rate	Status
(s)	(%)	(MPa)	(tonne)	(cm ³ /s)	
0.29	5.09	5.34	0.00	3.14	U
0.53	9.08	6.41	0.00	3.21	U
0.92	15.40	6.91	0.00	3.21	U
0.98	16.68	7.00	0.00	3.21	U
1.24	23.69	7.38	0.00	3.21	U
1.40	26.25	7.75	0.00	3.20	U
1.71	32.65	8.58	0.12	3.19	U
1.96	36.92	12.11	0.39	3.18	U
2.28	41.48	17.68	0.48	3.21	U
2.44	46.12	12.18	0.40	3.21	U
2.60	50.87	15.67	0.58	3.21	U
2.92	55.40	14.02	0.54	3.21	U
3.18	68.05	15.44	0.58	3.21	U
3.42	69.82	18.92	0.65	3.21	U
3.67	69.17	15.48	0.71	3.21	U
3.91	72.65	15.98	0.77	3.22	U
4.16	78.25	16.54	0.88	3.22	U
4.40	82.47	18.92	1.04	3.22	U
4.64	86.68	23.87	3.12	3.22	U
4.88	91.19	28.28	3.12	3.22	U
5.13	95.75	23.49	3.24	3.22	U
5.87	99.98	25.48	4.22	2.12	P
5.37	99.99	25.10	4.22	1.90	P
5.37	100.00	28.95	4.23	1.06	Filled

图 9-60 填充分析过程信息

Filling phase results summary :		
Maximum injection pressure	(at 5.370 s) =	27.1364 MPa
End of filling phase results summary :		
Time at the end of filling	=	5.3741 s
Total weight	=	19.2253 g
Maximum Clamp Force - during filling	=	4.2264 tonne

图 9-61 填充分析的部分结果

填充过程的最大压力为 27.1364MPa, handspike-lock 包括浇注系统在内的重量是 19.2253g。

9.5.3 结果分析

在分析结果中, 关注 handspike-lock 组合型腔内的填充情况 (是否平衡)、填充过程中的压力变化情况以及填充完成后的产品表面质量。

(1) 填充时间 (Fill Time)

从填充时间中最容易直观地看出熔体流动是否平衡, 如图 9-62 所示。handspike 在 5.374s



完成填充，而 lock-left 和 lock-right 在 4.031s 完成了填充，流动的不平衡性达到了 25%，这样不平衡的流动会造成两个型腔的压力分布不均匀，对产品质量产生较大的影响。

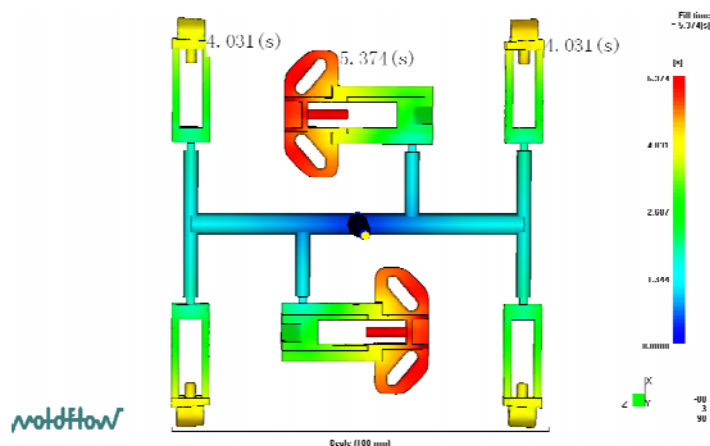


图 9-62 填充时间 (Fill Time)

(2) 转换点压力 (Pressure at V/P Switchover)

V/P 转换点型腔内的压力分布图如图 9-63 所示。

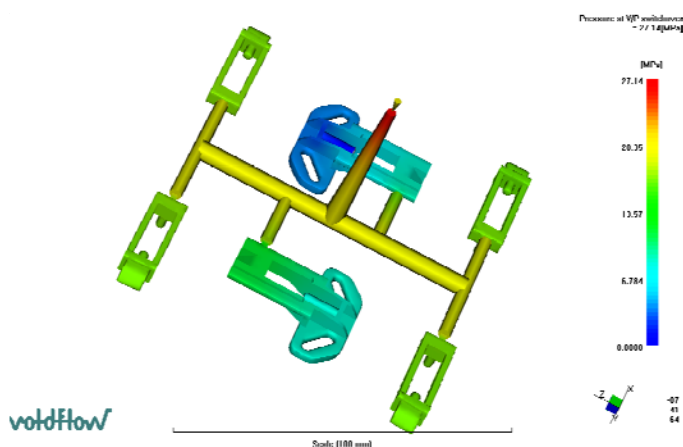


图 9-63 V/P 转换点型腔内的压力分布图

V/P 转换点浇口位置压力为 27.14MPa，由于为了获得流道平衡分析所需的压力约束条件，在工艺过程参数的设置中，将 V/P 转换点设置在型腔 100% 被充满的时刻，由于流动的不平衡性，这里的压力值比实际情况要高一些。

另外，从图 9-63 中可以清楚地看到，lock-left 和 lock-right 由于过早被充满，因此在填充结束时，内腔压力较高，这样很容易造成过保压的情况，从而使产品质量出现缺陷。

(3) 浇口位置压力曲线 (Pressure at injection location: XY Plot)

浇口位置压力变化曲线如图 9-64 所示，浇口位置压力曲线表达了浇口处压力在整个熔体填充过程中的变化。

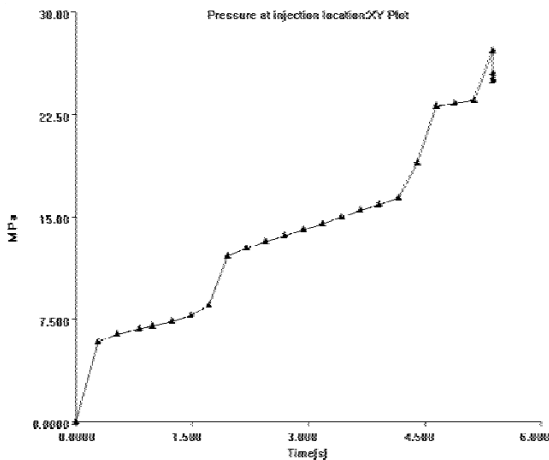


图 9-64 浇口位置压力变化曲线

(4) 熔接痕 (Weld Lines)

为了清楚地观察熔接痕现象，给出了熔接痕与填充时间的叠加效果，如图 9-65 所示。

(5) 气穴 (Air Traps)

产品中出现气穴的位置如图 9-66 所示。

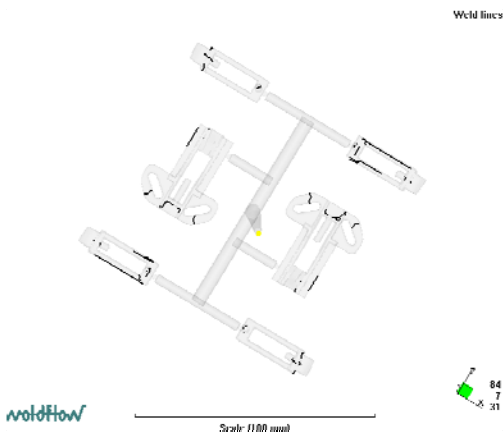


图 9-65 熔接痕

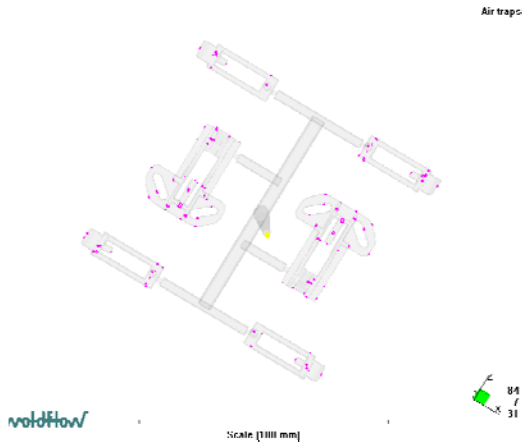


图 9-66 气穴位置

经过对 handspike-lock 组合型腔初步设计的填充分析小结，可以得到以下一些结论：

- (1) 熔体在型腔内流动不平衡，其不平衡率达到 25%，希望通过浇注系统优化将不平衡率控制在 5% 以内；
- (2) 由于流动的不平衡，造成两个型腔内的压力差异很大，希望通过浇注系统优化将压力的不平衡率也控制在 5% 以内；
- (3) 产品的外观质量较好，浇口位置的设计是合理的。

9.6 组合型腔的流道平衡分析

根据产品初步设计的填充分析结果，将对产品的浇注进行 Runner Balance 分析，目的是



希望改善熔体在型腔内流动的不平衡性，降低两个型腔内的压力差，防止过保压等由于流动不平衡造成的情况出现。

MPI 的流道平衡（Runner Balance）分析，仅仅针对 Midplane 和 Fusion 两类网格模型，而且要求被分析产品的每个型腔都是单浇口注塑。流道平衡分析希望通过优化流道（Runner）尺寸，达到以下一些目的：

- （1）填充过程中每一条流路上都具有相同的压力差，从而保证在同一时刻充满各个型腔；
- （2）减少流道内由于摩擦产生的热量，从而保证在相对较低的料温下降低产品的内应力水平；
- （3）根据给出的压力约束条件，尽量减少系统所消耗的材料。

流道平衡分析通过约束条件的限定和不断逼近的迭代计算，来调整浇注系统中分流道（Runner）的截面直径，从而达到平衡熔体流动的目的。但是，流道平衡分析仅仅改变流道（Runner）的尺寸，而对主流道（Spure）和浇口（Gate）不作调整。因此，主流道和浇口的尺寸必须由用户根据实际情况和经验给出。

9.6.1 分析前处理

Handspike-lock 组合型腔的流道平衡分析是在初步设计的填充分析基础上进行的，因此分析前处理要相对简化许多，主要包括以下内容：

- （1）从填充分析（handspike_lock_l_r_original_unbalanced）中复制基本分析模型；
- （2）设定分析模型；
- （3）设定平衡约束条件；
- （4）设定流道的尺寸约束条件。

步骤 1：以初步设计的填充分析（handspike_lock_l_r_original_unbalanced）为原型，进行基本分析模型的复制。在项目管理窗口（Project View）中右击已经完成的初步成型分析 handspike_lock_l_r_original_unbalanced，在弹出的快捷菜单中选择“拷贝复制”命令，如图 9-67 所示。

复制完成的项目管理窗口如图 9-68 所示。

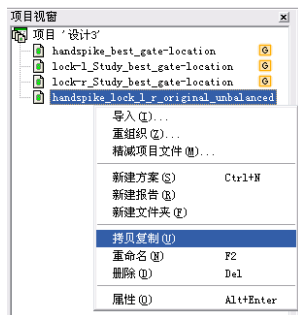


图 9-67 复制基本模型

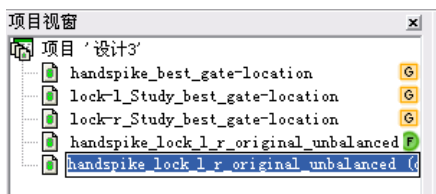


图 9-68 基本分析模型复制完成

步骤 2：分析任务重命名。将新复制的分析模型重名为 handspike_lock_l_r_runner_balance_5%，重命名之后的项目管理窗口和分析任务窗口如图 9-69 所示，这里 5%指的是迭代计算的收敛精度。

步骤 3：从分析任务窗口中更可以看到，初步填充分析（handspike_lock_l_r_original_



unbalanced) 的所有模型和相关参数设置被复制。

将分析类型设置为流道平衡分析, 完成后分析任务窗口如图 9-70 所示。

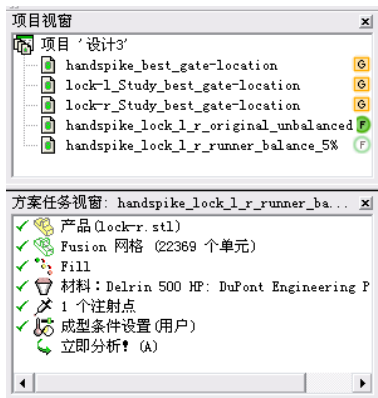


图 9-69 基本分析模型设置

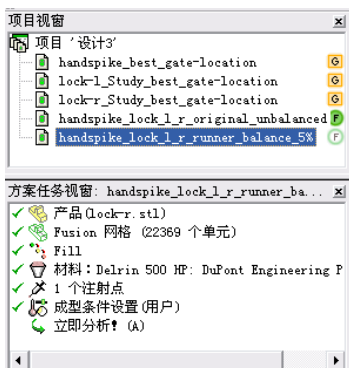


图 9-70 分析类型设置

步骤 4: 在流道平衡分析中, 最为重要的环节就是平衡约束条件的设置。由于流道平衡 (Runner Balance) 分析属于数值计算中的迭代分析计算, 因此平衡约束条件的设置直接决定了分析计算能否最终收敛并得到合理的计算结果, 而且约束条件还影响计算的精度和速度。

平衡约束条件设置如下。

1) 执行“分析→成型条件设置”命令, 或者直接双击任务窗口中的“成型条件设置”一栏, 系统会弹出流动分析成型条件设置的对话框, 其参数设置保持默认值不变, 如图 9-71 所示。



图 9-71 流动分析参数的设置

2) 单击“下一步”按钮, 进入“流道平衡设置”对话框。如图 9-72 所示。目标压力设定为 25MPa, 该参数是流道平衡分析进行迭代计算的压力目标值, 迭代分析的目标是获得合理的流道截面直径, 从而保证在填充结束时进料点的压力值接近目标压力。在初步设计的填充分析过程中, 在图 9-64 中, 将 V/P 转换点设置在 100% Volume filled, 是为获得该参数。填充分析结果中, V/P 转换点浇口位置压力为 27.14MPa, 因此在设置目标压力时将其定为 25MPa。流道平衡分析的目的在于满足约束条件下, 获得最小的流道截面直径, 过高的目标压力会造成优化后的流道直径过小。





图 9-72 “流道平衡设置”对话框

3) 单击“高级选项”按钮，弹出迭代计算参数设置以及收敛目标，如图 9-73 所示。



图 9-73 流道平衡高级选项——迭代计算参数

研磨公差——迭代计算中流道截面直径的改变步长，即每步迭代计算改变的流道直径值，从而逼近最佳结果，该参数设定为 0.1mm。该数值的设定会影响整个计算过程的精度和时间。

最大迭代——设定为“20”，迭代计算是一个逐步收敛的过程。迭代计算能否收敛关系到很多因素，调高该参数可能会对计算过程的收敛有所帮助，但是如果其他参数设定不合理，计算过程本身出现发散的情况，即使调整该参数也没有意义。

时间收敛公差——设定为“5%”，该参数是迭代计算在各型腔充填时间不平衡性方面的收敛标准，即当充填时间的不平衡度达到 5%以内时计算达到收敛目标。提高时间收敛公差能够增加计算的精确性，但同时也会增加计算的时间，并可能导致迭代计算的失败。

压力收敛公差——设定为“5%”，该参数是迭代计算所得的填充结束时进料位置压力的收敛标准，即填充压力与目标压力达到 5MPa 偏差范围时认为计算达到收敛。

4) 单击“确定”按钮，完成平衡约束条件的设定。

步骤 5：流道尺寸约束条件的设定。

流道尺寸的约束形式有 3 种：

- ①固定的——流道平衡分析过程中不能调整流道尺寸；
- ②不受约束的——流道平衡分析中系统自动确定流道尺寸，用户没有约束；
- ③受约束的——需要用户给出流道直径允许变化的范围。

以上 3 种约束形式可以组合使用，例如浇注系统中某条流道的尺寸根据实际情况不宜再进行调整，就可以将约束设定为“固定的”；而对于浇注系统中的某条流道，用户希望某个范围内进行调整，就可以将约束设定为“受约束的”，并给出上下范围；对于初步的流道分析，建议用户用“不受约束的”约束方式，从而获得一个初步的流道尺寸作为进一步流道平衡分析的基础，同时也可以避免在第一次的流动平衡分析中给出不合理的流道约束而造成分析的失败。

在本案例中，对于流道尺寸的约束全部采用“不受约束的”的方法，为了确保设定的正确性，在分析计算之前，再检查确认一遍：使用鼠标右键单击所有的分流道杆单元，在弹出的快捷菜单中选中“属性”命令，系统会弹出如图 9-74 所示的“冷流道”属性对话框。



在对话框中选择“编辑尺寸→编辑流道平衡约束”，查看约束条件，如图 9-75 所示。



图 9-74 “冷流道”属性对话框



图 9-75 流道约束条件

9.6.2 分析计算

在完成了分析前处理之后，即可进行分析计算，双击任务栏窗口中的“立即分析！”一项，解算器开始计算。由于基本分析模型从已经完成的填充分析中复制而来，而且流道平衡分析中的流动分析过程参数设置没有变化，所以系统直接继承了前面的填充分析结果，可看到分析任务窗口如图 9-76 所示。

分析计算直接进入流道平衡分析的迭代过程，执行“分析→任务管理器”命令可以看到任务队列，如图 9-77 所示。

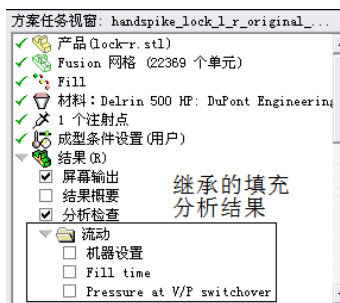


图 9-76 任务分析窗口

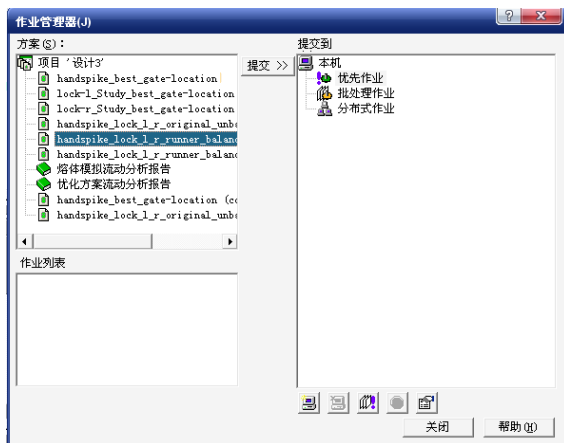


图 9-77 查看任务队列

如图 9-78 所示，可以看到流道平衡分析的一些基本信息，包括平衡分析的目标压力、迭代计算的步长、最大的迭代计算以及迭代收敛范围等。

迭代计算过程。如图 9-79 所示，迭代计算过程在“屏幕输出”中清楚显示，从中可以看到每次迭代计算的结果，以及最终迭代计算所得到的逼近结果，具体到本案例，系统经过 4 次计算，达到收敛的范围。

在本案例的计算中，经过 4 次的迭代计算达到收敛精度，迭代计算次数少于设定的 20 次，在有的情况下，经过规定的迭代计算，仍然没有得到收敛的结果，这就需要调整迭代计算的次数。当然，如果发现在计算过程中出现严重的发散现象，那么就应调整其他的平衡分析约束条件，以获得合理的计算结果。

计算时间。如图 9-80 所示，流道平衡分析所消耗的计算时间是相对较多的。



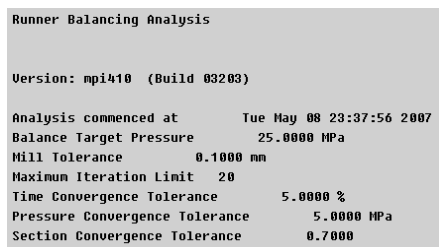


图 9-78 流道平衡分析的基本设置

Iteration	Time Imbalance (%)	Pressure Imbalance (MPa)	Section Imbalance
0	18.2289	4.7200	0.9477
1	11.1199	3.4000	1.0479
2	4.3637	1.9100	0.7245
3	0.4031	2.9360	0.7551
4	3.0900	10.3500	0.0000

图 9-79 迭代计算过程

Execution time	
Analysis commenced at	Tue May 08 22:59:58 2007
Analysis completed at	Tue May 08 23:29:07 2007
CPU time used	1748.78 s

图 9-80 计算所用时间

9.6.3 结果分析

分析计算完成之后，项目管理窗口如图 9-81 所示。

与其他类型的分析不同，流道平衡分析完成后，系统自动给出了达到收敛要求的最后一次迭代计算的结果，即满足平衡约束条件、经过流道尺寸调整的填充结果，因此在项目管理窗口中，多出了分析子项 `handspike_lock_l_r_runner_balance_5%_(runner_balance)`。

(1) 流道平衡分析结果

双击项目管理窗口中的分析子项“`handspike_lock_l_r_runner_balance_5%`”，可以查看流道平衡分析结果，如图 9-82 所示。

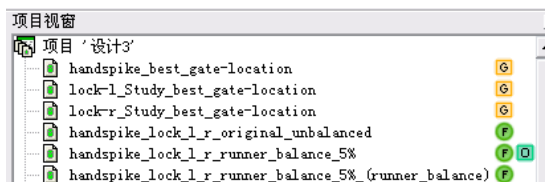


图 9-81 项目管理窗口

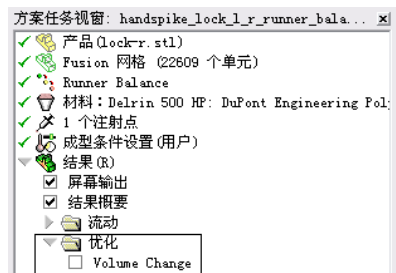


图 9-82 流道平衡分析结果

在分析结果中，包括两个内容，分别是 `handspike-lock` 组合型腔初步设计的填充分析结果和流道尺寸的优化结果。

流道尺寸的优化结果如图 9-83 所示。

(2) 优化后的填充分析结果

在完成了流道的平衡优化后，系统给出了最终的迭代计算结果，即优化后的 `handspike-lock` 组合型腔填充分析结果。

1) 优化后的流道截面尺寸

分别使用鼠标右键单击各分流道杆单元，选择“属性”命令，系统会弹出如图 9-84 所示的“冷流道”属性对话框。



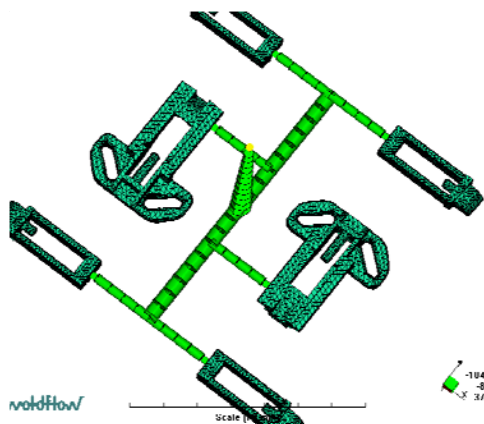


图 9-83 流道尺寸优化结果

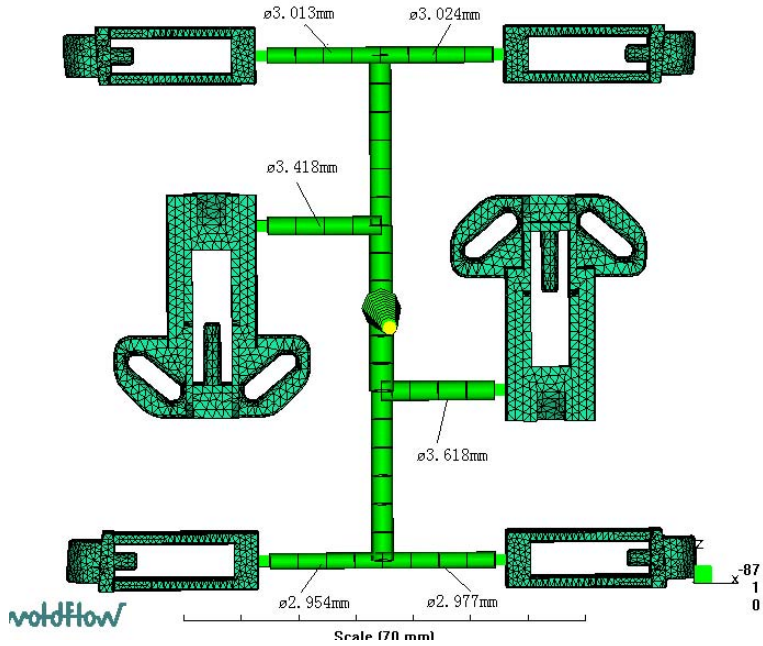


图 9-84 “冷流道”属性对话框

在对话框中单击“编辑尺寸”按钮，查看优化后的流道截面直径，如图 9-85 所示。



(a)



(b)

图 9-85 流道截面直径

2) 填充时间

如图 9-86 所示，经过流道平衡的优化，流道优化的结果在填充时间上是比较理想的。

3) Pressure at V/P Switchover 转换点压力

V/P 转换点型腔内的压力分布如图 9-87 所示。

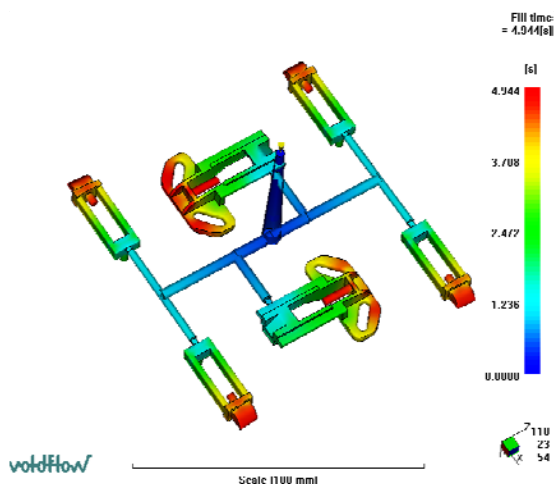


图 9-86 填充时间

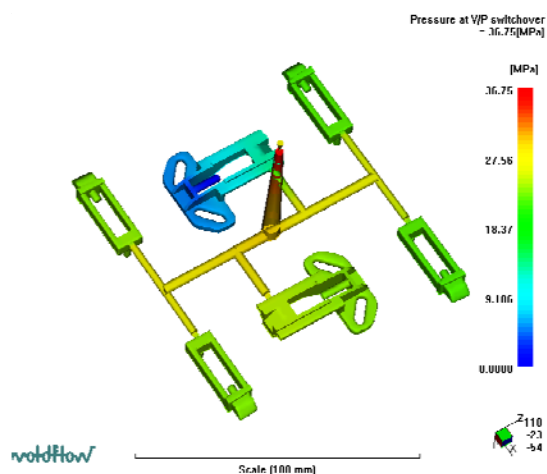


图 9-87 V/P 转换点压力

4) Pressure at injection location:XY Plot 浇口位置压力曲线

浇口位置的压力变化曲线如图 9-88 所示，浇口位置压力曲线表达了浇口处压力在整个熔体填充过程中的变化。浇口位置的压力在熔体充模的后期变化非常平缓，这是由于流动平衡优化的结果。

与优化前的浇口位置压力曲线相比较，可以发现，浇口位置的压力在熔体充模的后期变化非常均匀，这是由于流动平衡优化的结果。

5) 熔接痕

如图 9-89 所示，熔接痕的情况依然比较理想。

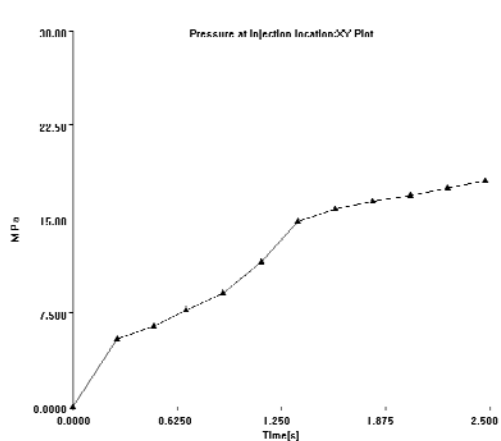


图 9-88 浇口位置压力曲线

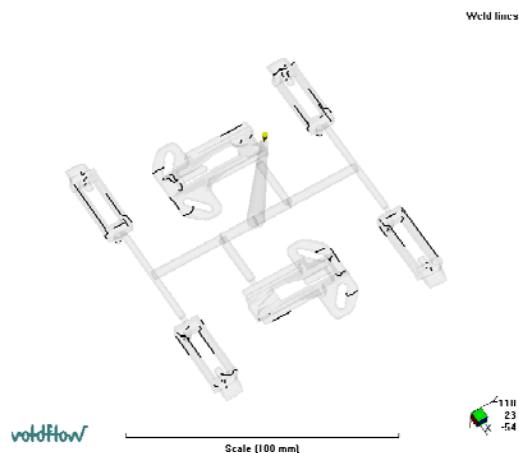


图 9-89 熔接痕

9.6.4 流道优化平衡分析小结

经过对 handspike-lock 组合型腔的流道优化平衡分析，可以得到以下一些结论：



- (1) 经过流道尺寸的优化，熔体在两个型腔内的流动基本达到了平衡；
- (2) 两个型腔在充模过程中的压力分布比较均匀；
- (3) 整个注塑过程中进料点压力变化比较均匀。

从结果上看，流道的平衡优化是比较理想的。用户在实际产品设计中，应该将实际经验和 MPI 的应用相结合，不断改进设计方案，获得质量可靠的产品。

9.7 组合型腔优化后的流动分析

利用流道平衡优化的方法，用户可以根据实际情况和优化结果来调整最初的设计方案，从而获得相对合理的设计方案。

考虑到 handspike-lock 的型腔容积相对比较小，为了保证熔体的平衡流动，不仅调整了流道的尺寸，而且对组合型腔的浇口直径也作了相应的调整。经过多次的优化计算和尺寸修改，最终得到了比较合理的设计方案。

为了验证调整后方案的可行性，需要对组合型腔调整后的设计方案进行流动保压分析。

9.7.1 设计方案的调整及分析前处理

Handspike-lock 组合型腔设计方案的优化和相应的 Flow 分析前处理主要包括以下内容：

1) 从填充分析 handspike_lock_l_r_runner_balance_5%_(runner_balance) 中复制基本分析模型；

- 2) 设定分析类型；
- 3) 调整浇注系统的尺寸；
- 4) 修改工艺过程参数。

(1) 基本分析模型分复制

以流道平衡分析产生的填充分析 handspike_lock_l_r_runner_balance_5%_(runner_balance) 为原型，进行基本分析模型的复制。

1) 基本分析模型的复制。在项目管理窗口中右击分析子项 handspike_lock_l_r_runner_balance_5%_(runner_balance)，选择“拷贝复制”命令，如图 9-90 所示。

2) 分析任务重命名。将新复制的分析模型重命名为 handspike_lock_l_r_final_balance，重命名之后的项目管理窗口和分析任务窗口如图 9-91 所示。

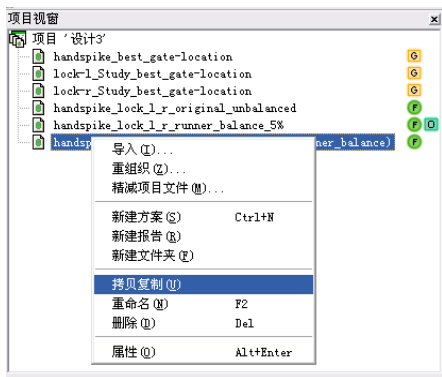


图 9-90 执行“拷贝复制”命令

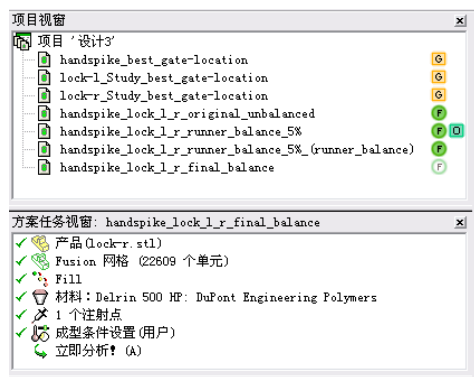


图 9-91 基本分析模型设置



(2) 分析类型的设定

将分析类型设置为流道平衡分析，完成后分析任务窗口如图 9-92 所示。

(3) 浇注系统尺寸的调整

流道平衡优化的分析结果为重新调整流道尺寸提供了可靠的参考，结合实际情况，调整了浇口截面直径的尺寸，以及分流道直径。

1) 保持组合型腔的形状，调整截面尺寸，如图 9-93 所示。

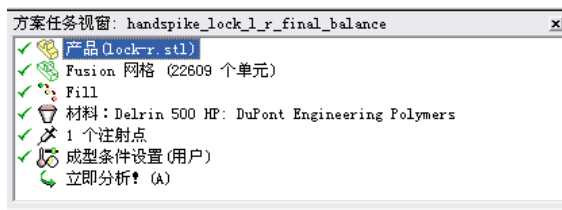


图 9-92 分析类型设置



图 9-93 “截面尺寸”对话框

2) 在网格模型显示窗口 (如图 9-94 所示) 中, 使用鼠标右键单击通向 handspike-lock 分流道的 4 个杆单元, 在弹出的快捷菜单中选择“属性”命令, 在弹出的“冷流道”对话框 (如图 9-95 所示) 中单击“编辑尺寸”按钮, 打开“截面尺寸”对话框, 设置直径参数, 如图 9-96 所示。

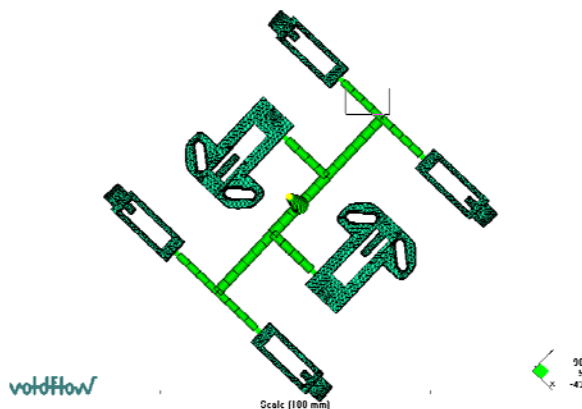


图 9-94 选中分流道杆单元

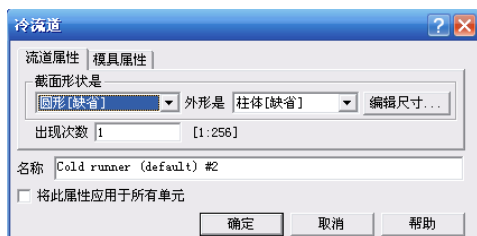


图 9-95 “冷流道”属性对话框



图 9-96 “截面尺寸”对话框

3) 使用同样的方法调整其他分流道直径。

(4) 工艺过程参数的调整

与流道平衡优化分析不同，在对调整后的设计方案进行最终的 Flow 分析时，其具体的



工艺过程参数设置如图 9-97 所示。



图 9-97 Flow 分析过程参数

- 与图 9-58 和图 9-71 的过程参数相比较，有如下两点变化：
- 1) 速度、压力切换转换点由“由%充填体积”设定为：自动控制；在前面的分析环节中，为了得到优化分析的结果将 V/P 转换点设定为“由%充填体积在 100%”，而在最终的设计方案验证时，为了与实际情况相逼近，V/P 转换点设定为：自动控制。
 - 2) Cooling Time——冷却时间设置为 20s。

9.7.2 分析计算

在完成了 handspike-lock 组合型腔设计方案的调整和分析前处理之后，双击任务窗口中的“立即分析!”一项，解算器开始计算。

在分析计算过程产生的输出信息中，注意观察组合型腔在填充过程中的压力情况，因为压力变化可以从侧面反映流道的平衡性。

填充分析过程信息如图 9-98 所示。

Time (s)	Volume (%)	Pressure (MPa)	Clamp force (tonne)	Flow rate (cm ³ /s)	Status
0.27	5.21	5.43	0.03	3.03	U
0.48	9.78	6.44	0.05	3.02	U
0.68	13.65	7.70	0.09	3.02	U
0.98	18.18	9.04	0.14	2.93	U
1.13	22.76	11.56	0.25	3.00	U
1.35	26.99	14.78	0.47	3.01	U
1.57	31.62	15.77	0.52	3.04	U
1.79	36.34	16.38	0.55	3.05	U
2.02	41.13	16.86	0.57	3.05	U
2.24	45.77	17.45	0.61	3.05	U
2.47	50.44	18.05	0.66	3.06	U
2.69	55.01	18.59	0.70	3.06	U
2.91	59.64	19.09	0.74	3.06	U
3.14	64.25	19.56	0.79	3.06	U
3.36	68.81	19.96	0.83	3.06	U
3.58	73.39	20.31	0.87	3.06	U
3.81	77.97	20.64	0.91	3.07	U
4.04	82.60	20.92	0.95	3.07	U
4.26	87.24	21.18	0.98	3.07	U
4.48	91.71	21.41	1.01	3.07	U
4.71	96.33	22.20	1.16	3.07	U
4.93	99.76	35.65	5.47	3.07	U
4.94	99.98	35.35	5.83	2.31	P
4.94	100.00	35.21	5.83	2.31	Filled

图 9-98 填充分析过程信息

从图 9-98 中可以发现,在填充过程中,压力的变化比较平稳,从侧面说明流道相对平衡。V/P 转换发生在型腔 99.98% 被充满的时候,此时的填充压力在 35.35MPa 左右。在 4.94s 左右完成组合型腔的填充。

9.7.3 结果分析

在分析结果中,关注熔体在组合型腔内的填充情况(是否平衡)、充填过程中的压力变化情况以及填充完成后的产品表面质量。

(1) 填充时间 (Fill Time)

从填充时间中最容易直观地看出熔体流道是否平衡,如图 9-99 所示,组合型腔在 4.944s 同时完成了填充。

(2) 转换点压力 (Pressure at V/P Switchover)

V/P 转换点型腔内的压力分布如图 9-100 所示。

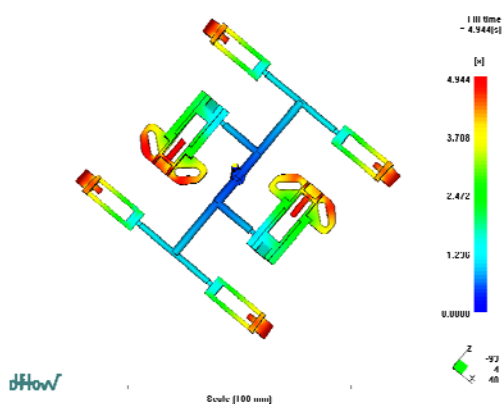


图 9-99 填充时间

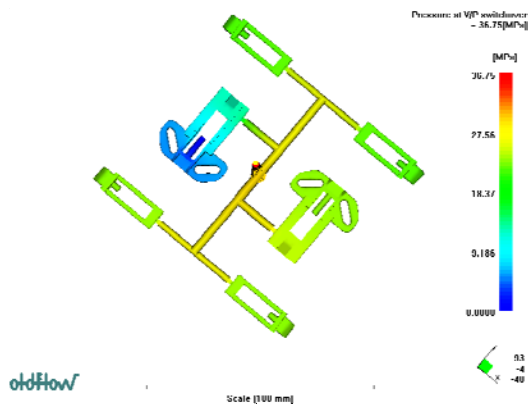


图 9-100 V/P 转换点压力

V/P 转换点浇口位置压力为 36.75MPa, 另外,从图 9-100 中可以清楚地看出,由于流动平衡,型腔的压力也比较均匀。

(3) Pressure at injection location:XY Plot 浇口位置压力曲线

浇口位置的压力曲线如图 9-101 所示,浇口位置压力曲线表达了浇口处压力在整个熔体填充过程中的变化。

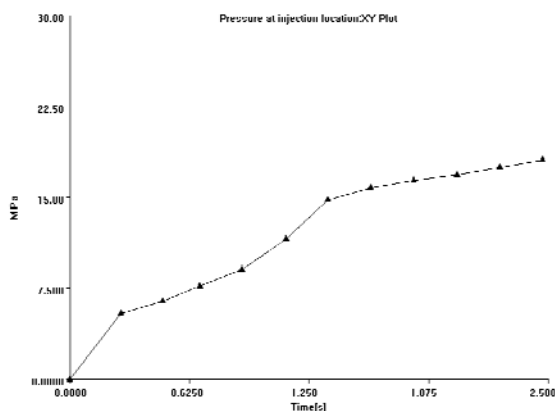


图 9-101 浇口位置压力曲线



为了清楚地看到充模过程中的压力曲线，要对该结果稍作修改。如图 5-102 所示，在分析任务窗口的结果显示栏中右击“Pressure at injection location:XY Plot”，选择“属性”命令，在弹出的显示属性对话框中，单击“XY 绘制属性 (2)”标签。具体参数的设置如图 9-103 所示，设置完成后单击“确定”按钮。

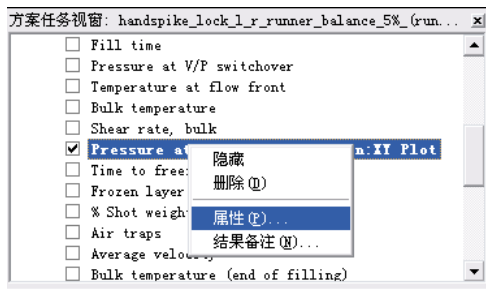


图 9-102 修改显示结果

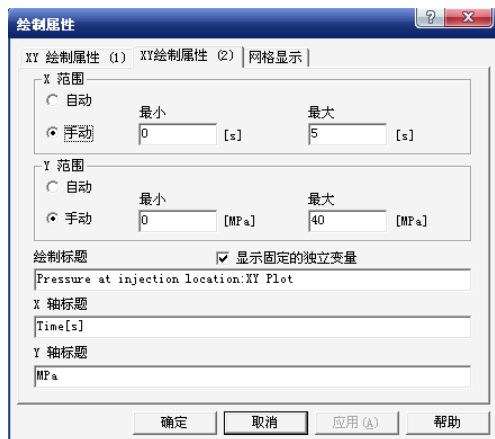


图 9-103 设置“绘制属性”参数



10.1 概述

熔接痕是由于熔融塑料在型腔中由于遇到嵌件、孔洞、流速不连贯的区域、充模料流中断的区域而以多股形式汇合时，因不能完全熔合而产生的。熔料在界面处未完全熔合，彼此不能熔接为一体，造成熔合印迹，注塑件中存在熔接痕时，不仅明显影响了制品的表面质量，而且使得熔接痕处的力学性能远低于制品的其他部分，其强度只有材料强度的10%~90%。

这种情况的发生为：通过多浇口注射或者熔体流围绕障碍物的后果。两种主要的熔接痕通常是有区别的。冷或者滞流熔接痕是由正面的冲击两熔体相遇后没有补料而形成的。热或者流动熔接痕是产生于两熔体流在 lateral meeting 侧面相遇之后继续流动。由于熔接痕常常导致机械强度的下降并还会降低模塑制品的表面光洁度。

以第8章的手机外壳为例，研究浇口位置的不同对熔接痕的影响。手机外壳出现了比较严重的熔接痕缺陷，而且通过调整工艺参数的方法不易去除，因此考虑修改和调整模具的浇注系统设计方案。

本章的内容侧重于介绍利用 MPI 的模拟仿真，对浇注系统方案进行调整和修改，在原有浇注系统设计的基础上找到一种合理的修改方案，从而能够消除产品的表面缺陷。

10.2 原方案熔接痕的分析

10.2.1 项目创建和模型导入

在指定的位置创建分析项目 Mobile，并导入手机外壳的 IGES 格式模型。

(1) 创建一个新的项目。执行“文件”→“新建项目”命令，此时，系统会弹出“创建新的项目”对话框，在“项目名称”文本框中输入项目名称“mobile 7”，单击“确定”按钮，默认的创建路径是 MPI 的项目管理路径，当然也可以自己选择创建路径，如图 10-1 所示。

(2) 导入手机外壳的 IGES 格式模型 iges.igs。执行“文件”→“导入”命令，在弹出的对话框中选择 iges.igs 文件，单击“打开”按钮。

(3) 在自动弹出的“导入”对话框中选择网格类型“Fusion”，单击“确定”按钮，如图 10-2 所示，手机外壳的模型被导入。

(4) 将分析任务 study 的名称由默认的 IGES_Study 改为 IGES_mesh，模型导入完成，结果如图 10-3 和图 10-4 所示。





图 10-1 创建新的项目

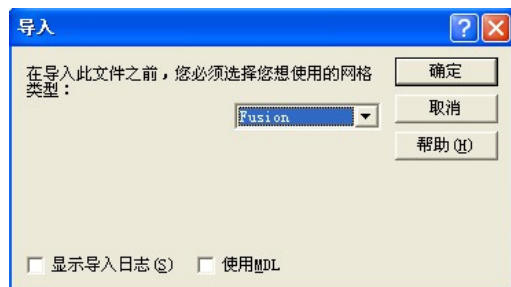


图 10-2 导入手机外壳网格类型



图 10-3 模型导入

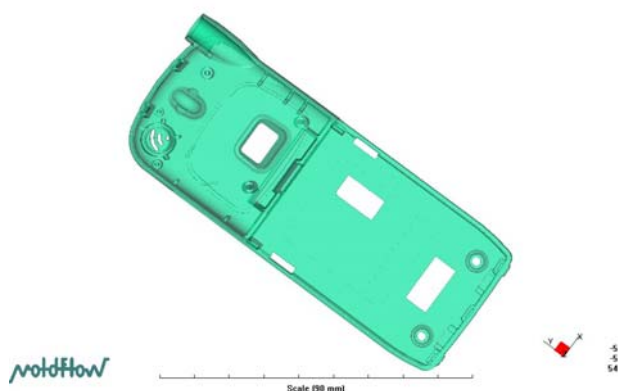


图 10-4 手机外壳未划分网格模型

在第 3 章已经介绍过，网格模型的建立和修改是一项非常复杂、耗时的工作，而且针对同一个模型，不同的使用者会得到不同的网格处理结果，因此这里就不再讲述网格的划分和修改过程，用户可以采用第 3 章手机外壳网格处理的结果。

(1) 型腔的镜像

手机外壳的模具型腔为一模两腔的对称设计，在生产时一次成型一对手机外壳。型腔布局要通过镜像复制，由左侧网格模型复制创建右侧网格模型，其操作过程如下。创建镜像中点，也就是主流道与分流道的交叉点。执行“建模→创建节点→偏移”命令，基点选择 N10739 为 (1500)，如图 10-5 所示，单击“应用”按钮，如图 10-6 所示。

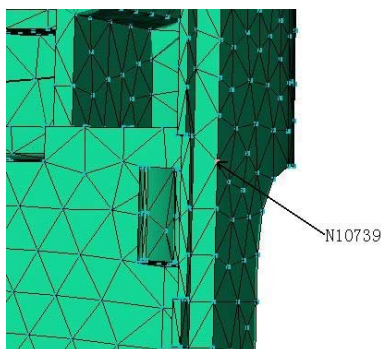


图 10-5 选择基点 N10739

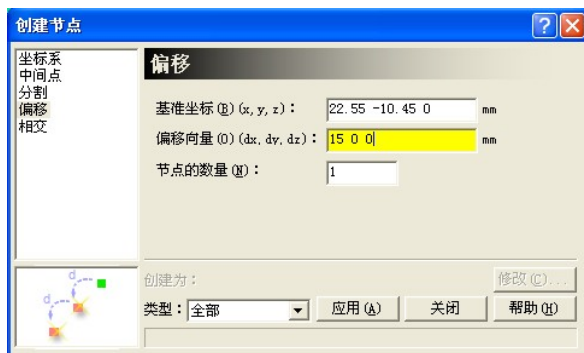


图 10-6 “创建节点”对话框



(2) 镜像复制

执行“建模”→“移动/复制”→“镜像”命令，系统弹出“移动/拷贝单元”对话框，如图 10-7 所示。

具体参数的设置如下：

- 1) 选择：选择网格模型中的全部三角形单元和节点；
- 2) 镜像：选择“YZ”平面；
- 3) 参考基准点，即镜像面通过的位置，选择刚刚创建的镜像中点；
- 4) 拷贝：选择该单选按钮；
- 5) “尝试自动与当前模型相连接”，这里不必选中，选中此项将有助于建模过程中网格单元间的连通性。

单击“应用”按钮，完成手机外壳的镜像复制，型腔布局结果如图 10-8 所示。

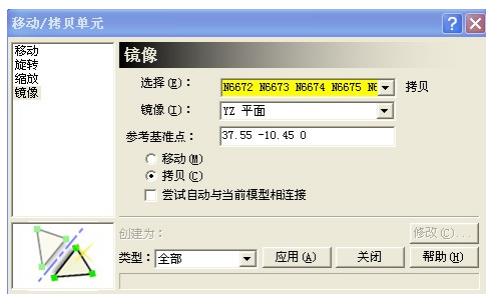


图 10-7 “移动/拷贝单元”对话框

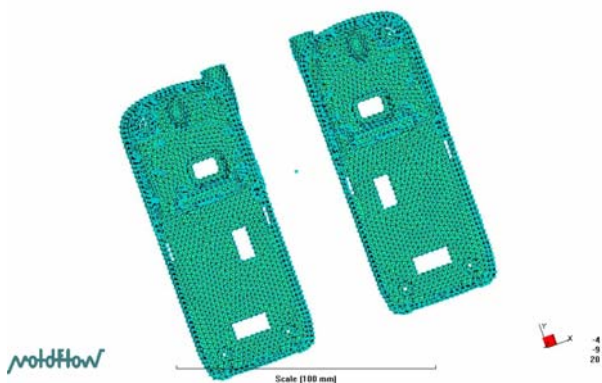


图 10-8 手机外壳型腔布局完成

(3) 浇注系统的创建

浇注系统的详细情况如图 10-9 所示。其中，主流道为锥形，上、下端口分别为 4mm 和 9mm，截面为圆形，长度为 60mm；分流道截面为正方形，边长为 5mm，每条分流道长度均为 13mm；侧浇口的截面为矩形，矩形长边为 5mm，短边为 3mm，浇口长度为 2mm，如图 10-10 所示。

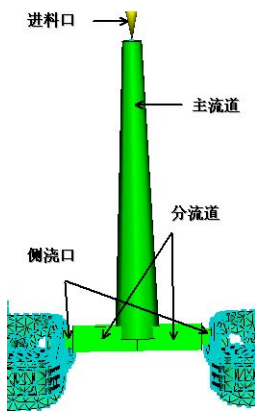


图 10-9 浇注系统示意图

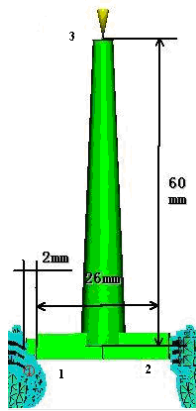


图 10-10 浇注系统长度



浇注系统的创建过程如下：

创建侧浇口中心线的端点①、②、③。执行“建模”→“创建节点”→“偏移”命令，基本选择刚刚创建的镜像中心点，端点①、②、③相对镜像中心点的偏置矢量分别为 $(-13\ 0\ 0)$ 、 $(13\ 0\ 0)$ 和 $(0\ 0\ 60)$ 。

创建侧浇口的中心线。首先创建左侧浇口中心线，其端点为 N10739 和节点①，执行“建模”→“创建曲线”→“直线”命令，系统弹出“创建曲线”对话框，如图 10-11 所示。

中心线的端点分别选择节点 N18482 和节点①，取消对“自动在曲线端点创建节点”复选框的选择，单击“修改”按钮，打开“冷浇口”对话框，选择“浇口属性”选项卡，进行相应的设置，如图 10-12 所示。

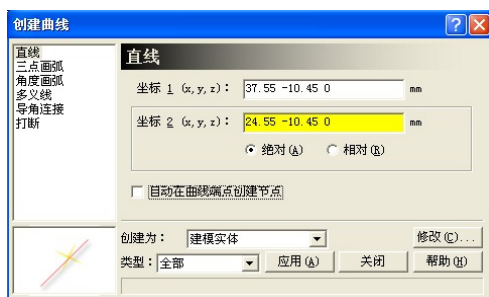


图 10-11 “创建曲线”对话框



图 10-12 浇口属性的设置

具体参数的设置如下：

- 1) 截面形状是：“矩形”；
- 2) 形状是：“柱体”；
- 3) 出现次数为“1”。

单击“编辑尺寸”按钮，弹出“截面尺寸”对话框，如图 10-13 所示。

矩形截面宽度为 5mm，高度为 3 mm，单击“确定”按钮返回如图 10-12 所示对话框，单击对话框中的“模具属性”选项卡，会弹出如图 10-14 所示的“冷浇口”对话框，选择模具材料为“Tool Steel P-20”。

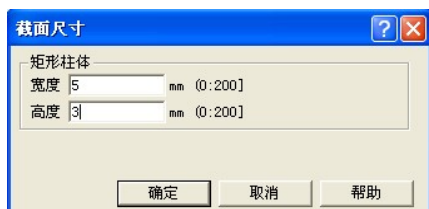


图 10-13 “截面尺寸”对话框

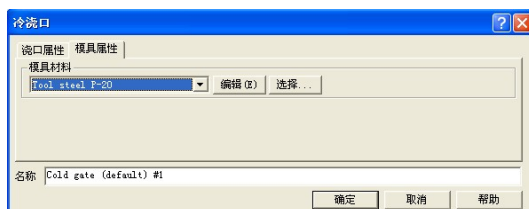


图 10-14 “模具属性”选项卡

具体参数设置完成后，单击“确定”按钮返回如图 10-11 所示对话框，单击“应用”按钮，完成侧浇口中心线的创建。使用同样的方法创建另一侧浇口的中心线，其端点为 N18481 和节点②。

创建分流道的中心线。首先创建一侧的分流道中心线，其端点为节点①和镜像中心点，执行“建模→创建曲线→直线”命令，打开“创建曲线”对话框，如图 10-15 所示。

中心线的端点分别选择节点①和镜像中心线，取消对“自动在曲线端点创建节点”复选



框的选择，单击“修改”按钮，打开“赋新属性”对话框，如图 10-16 所示。

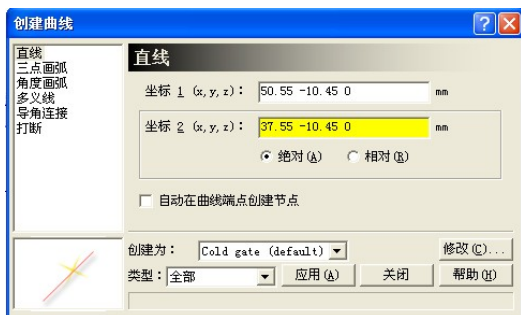


图 10-15 “创建曲线”对话框



图 10-16 “赋新属性”对话框

在列表中选择“Cold runner (default) #1”，如果没有该属性可通过单击“新建”按钮进行新建，选择“冷流道”可以设置分流道形状属性，打开“冷流道”对话框，如图 10-17 所示。

具体参数的设置如下：

- 1) 截面形状是：“矩形”；
- 2) 外形是：“柱体”；
- 3) 出现次数为“1”。

单击“编辑尺寸”按钮，弹出“截面尺寸”对话框，如图 10-18 所示。



图 10-17 “冷流道”对话框

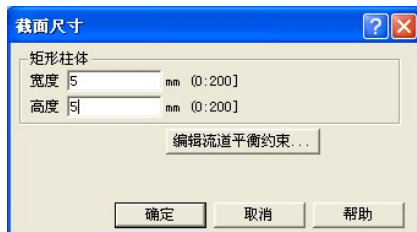


图 10-18 “截面尺寸”对话框

矩形截面宽度为 5mm，高度也为 5mm，单击“确定”按钮返回如图 10-17 所示对话框，选择“模具属性”选项卡，设置“模具材料”（Mold material）为 P-20 号钢，参数设置完成后单击“确定”按钮返回如图 10-15 所示对话框，单击“应用”按钮，完成一侧的分流道中心线的创建。使用同样的方法创建另一侧分流道的中心线，其端点为节点②和镜像中心点。

创建主流道的中心线，其端点为节点③和镜像中心点。执行“建模”→“创建曲线”→“直线”命令，弹出“创建曲线”对话框，如图 10-19 所示。

中心线的端点分别选择节点③和镜像中心点，取消对“自动在曲线端点创建节点”复选框的选择，单击“修改”按钮，弹出“赋新属性”对话框，如图 10-20 所示。

在列表中选择“Cold sprue (default) #1”，如果没有该属性可通过单击“新建”按钮进行新建，选择“冷竖浇道”可以设置主流道形状属性，打开“冷竖浇道”对话框，如图 10-21 所示。

具体参数的设置如下：

- 1) 外形是：锥体（由端部尺寸定）。
- 2) 单击“编辑尺寸”按钮，打开“截面尺寸”对话框，如图 10-22 所示。



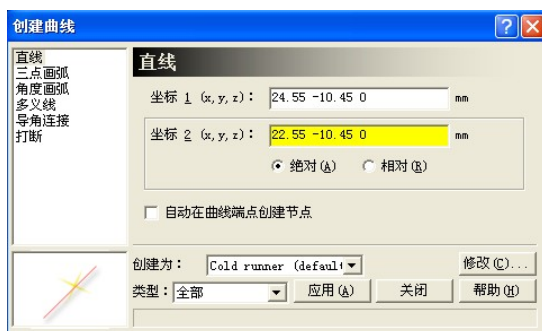


图 10-19 “创建曲线”对话框



图 10-20 “赋新属性”对话框

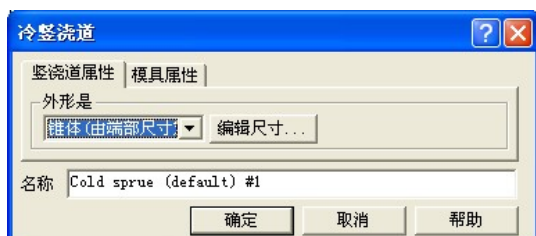


图 10-21 “冷竖浇道”对话框

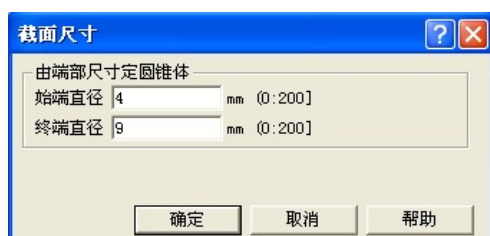


图 10-22 “截面尺寸”对话框

始端直径为 4mm，终端直径为 9mm，单击“确定”按钮返回如图 10-21 所示对话框，选择“模具属性”选项卡，设置模具材料（Mold material）为 P-20 号钢，参数设置完成后单击“确定”按钮返回如图 10-19 所示对话框，单击“应用”按钮，完成一侧的主流道中心线的创建。

浇注系统的杆单元划分。首先利用层管理工具，将侧浇口、分流道和主流道的中心线分别归入 Gate、Runner、Sprue，3 层，然后，仅显示 Gate 层对侧浇口进行杆单元的划分，如图 10-23 所示。

执行“网格”→“生成网格”命令，设置杆单元平均边长为 1mm，如图 10-24 所示，单击“生成网格”按钮，生成如图 10-25 所示杆单元。

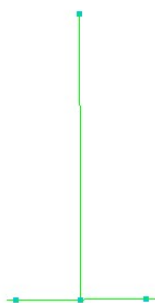


图 10-23 仅显示 Gate 层

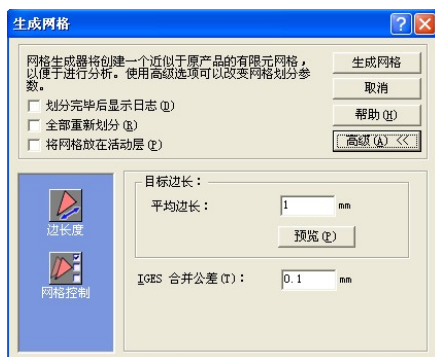


图 10-24 “生成网格”对话框

使用同样的方法，仅显示分流道和主流道，设置杆单元大小为 5mm，生成杆单元，结果如图 10-26 所示。



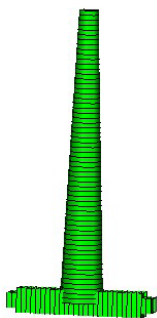


图 10-25 侧浇口杆单元

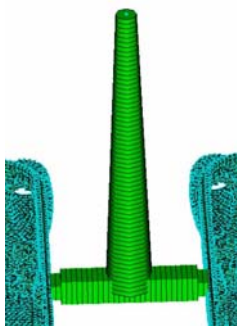


图 10-26 浇注系统创建结果

检验网格单元的连通性。在完成了浇注系统的创建和杆单元划分之后，要对浇注系统杆单元与产品三角形单元的连通性进行检查，从而保证分析过程的顺利进行。显示所有产品的三角形单元以及浇注系统的杆单元，执行“网格”→“连通性”命令，打开“网格连通性诊断”对话框，如图 10-27 所示。

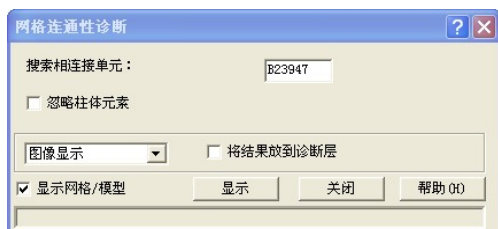


图 10-27 “网格连通性诊断”对话框

选择任一单元作为起始单元，单击“显示”按钮，得到网格连通性诊断结果，如图 10-28 所示，所有网格均显示为红色，表示相互连通。

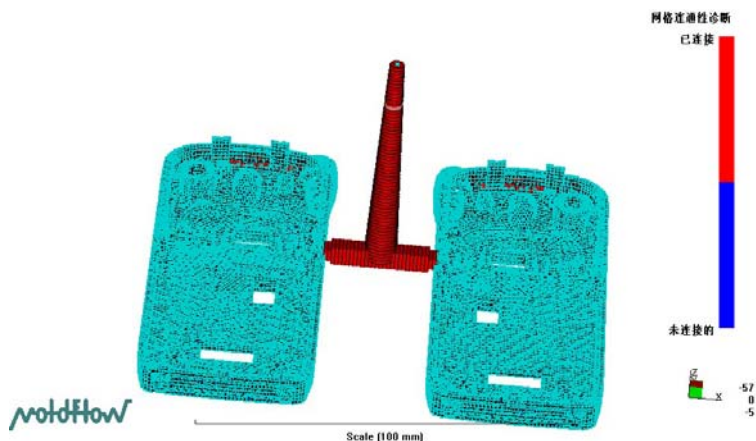


图 10-28 单元的连通性诊断结果

设置进料口位置。在“方案任务视窗”中，双击设置“进料口位置”，单击主流道进料口节点，选择完成后在工具栏中单击“保存”按钮进行保存。

浇注系统创建完成，方案任务窗口如图 10-29 所示。

10.2.2 材料选择

在完成了浇注系统的创建之后，再来选择产品的注塑原料。手机底座所采用的材料为 Kumho 公司的

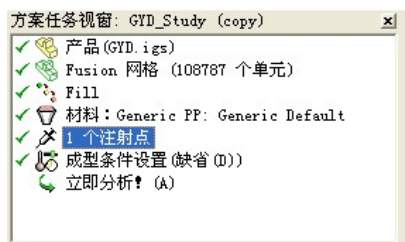


图 10-29 方案任务窗口显示



ABS+PC 材料，其牌号为 HAC 8250。

(1) 选择注塑材料。执行“分析”→“选择材料”命令，打开“选择材料”对话框，如图 10-30 所示，单击“搜索”按钮进行查询，弹出如图 10-31 所示的“搜索条件”对话框，在搜索字段和商业名称的“子字符串”中分别输入 Kumho 和 HAC 8250，单击“确定”按钮。

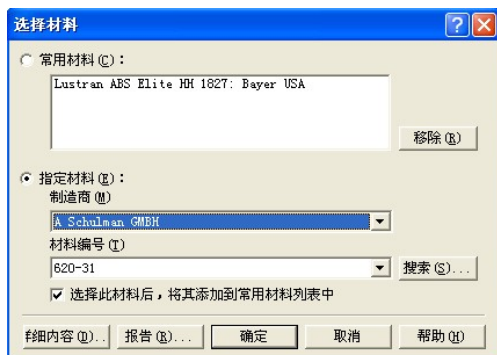


图 10-30 “选择材料”对话框

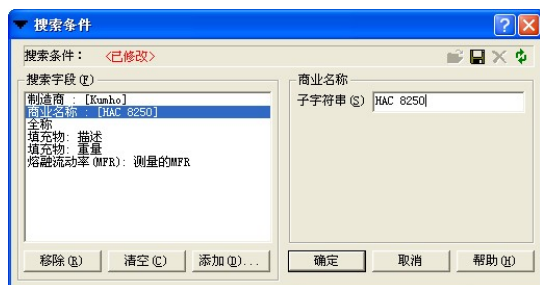


图 10-31 “搜索条件”对话框

(2) 搜索结果如图 10-32 所示，选中所需的材料，单击“详细内容”按钮，可以查看材料属性，如图 10-33 所示为材料的 PVT 特性，单击图 10-32 中的“选择”按钮，返回如图 10-30 所示的对话框，单击“确定”按钮。



图 10-32 搜索结果

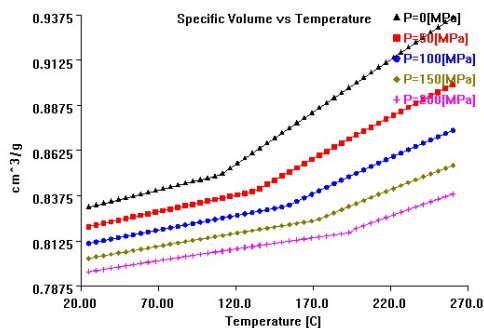


图 10-33 材料的 PVT 特性

(3) 在分析任务栏窗口中，材料一栏正确显示出所选材料为 HAC 8250: Kumho Chemicals Inc，如图 10-34 所示。

10.2.3 工艺过程参数的设定和分析计算

工艺过程参数选用默认设置。

在完成了分析前处理之后，即可进行分析计算，整个解算器的计算过程基本由 MPI 系统自动完成。双击“方案任务栏窗口”中的“立即分析”一项，解算器开始计算，通过分析计算的输出信息可以看到计算中的相关信息。

前面介绍过，对于 MPI/Flow-Fusion 分析，网格的匹配率应该达到 85%以上，低于 50%

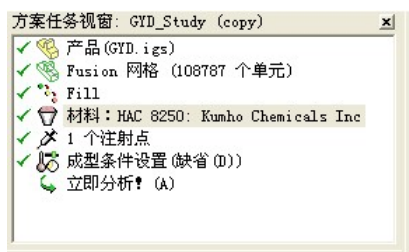


图 10-34 塑件材料选择完成

的匹配率会导致 Flow 分析自动中断。对于 MPI/Warp-Fusion 分析, 网格匹配率必须超过 85%。

充填分析过程信息（如图 10-35 所示）。

计算时间（如图 10-36 所示）。

Filling Analysis

Residual Stress Analysis
analysis is beginning

Filling phase: Status: U = Velocity control
 P = Pressure control
 U/P= Velocity/pressure switch-over

Time (s)	Volume (%)	Pressure (MPa)	Clamp force (tonne)	Flow rate (cm ³ /s)	Status
0.02	5.21	17.11	0.80	42.10	U
0.05	9.98	18.87	0.80	49.87	U
0.07	13.21	29.34	0.18	41.64	U
0.09	17.77	35.88	0.38	47.70	U
0.11	22.59	39.77	0.67	47.44	U
0.14	27.27	43.94	1.13	47.81	U
0.16	32.01	47.49	1.69	48.22	U
0.18	36.81	50.67	2.33	48.58	U
0.20	41.53	53.87	2.95	49.04	U
0.23	46.45	55.06	3.64	49.33	U
0.25	51.26	56.62	4.29	49.33	U
0.27	56.04	59.11	5.42	49.88	U
0.29	60.77	61.41	6.51	49.22	U
0.31	65.50	63.97	7.81	49.32	U
0.34	70.26	67.21	9.53	49.18	U
0.36	74.84	72.27	12.43	48.99	U
0.38	78.61	86.85	24.79	51.06	U

```
Execution time
  Analysis commenced at      Fri Jun 19 11:11:06 2009
  Analysis completed at      Fri Jun 19 11:26:33 2009
  CPU time used               926.08 s
```

图 10-35 充填分析过程信息

图 10-36 计算时间

计算结果后,方案任务窗口如图 10-37 所示,填充分析结果以列表形式显示。重点观察与产品熔接痕相关的结果信息。

(1) 熔接痕 (Weld Lines)

熔接痕容易使产品强度降低，特别是在产品可能受力的部位产生的熔接痕会造成产品结构上的缺陷。本案例中关注的熔接痕会造成产品表面质量缺陷，如图 10-38 所示。

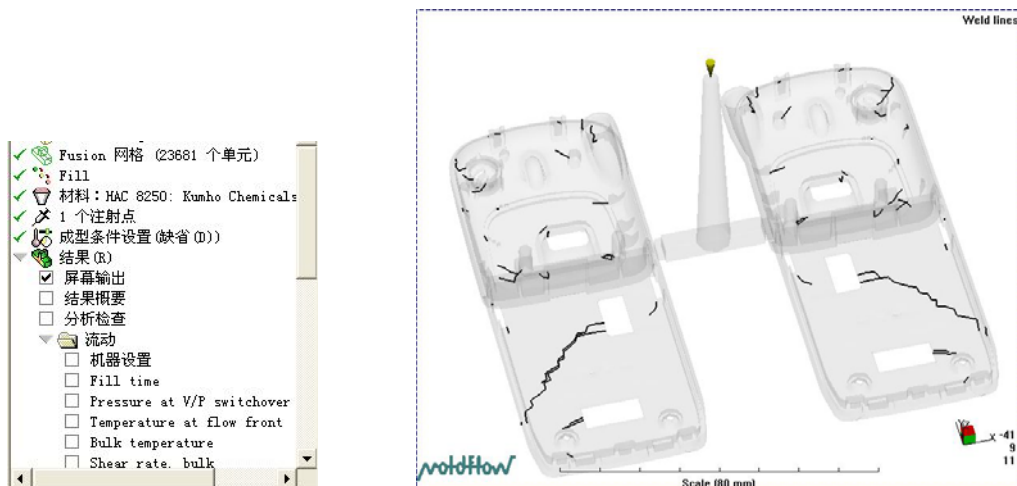


图 10-37 方案任务窗口

图 10-38 熔接痕

单独显示产品的熔接痕结果不容易观察熔接痕缺陷的具体情况，将熔接痕结果叠加在填充时间的结果上不仅可以清楚地观察熔接痕，而且可以分析熔接痕产生的机理，如图 10-39 和图 10-40 所示。

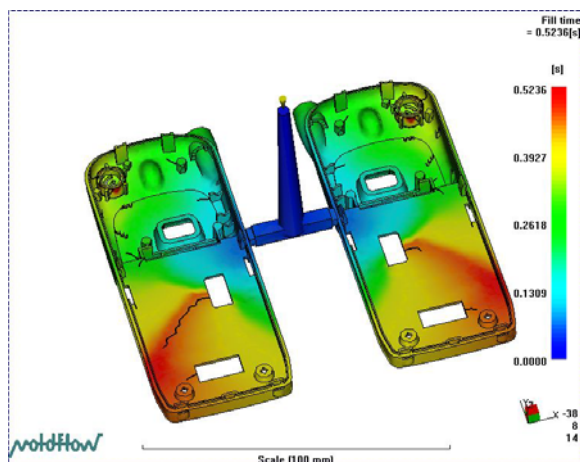


图 10-39 熔接痕与充填时间的叠加结果

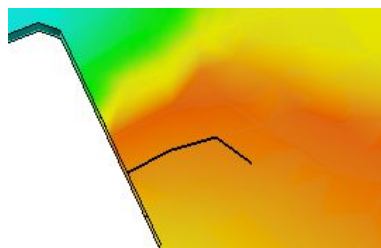
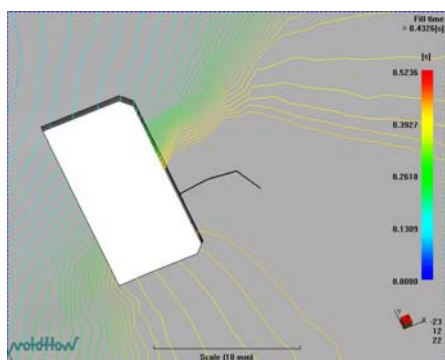


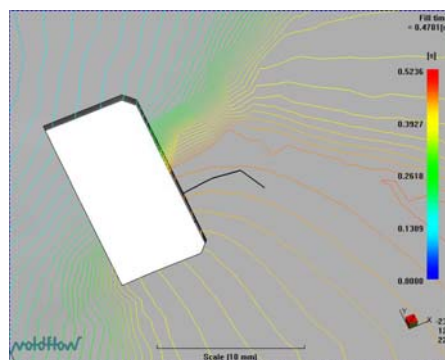
图 10-40 产品表面熔接痕

(2) 充填时间 (Fill Time)

通过对充填时间动态结果分析，可以直观地看到熔接痕产生的过程，如图 10-41 所示。



(a)



(b)

图 10-41 熔接痕的生成

(3) 表面分子取向 (Orientation at Skin)

通过产品表面的分子取向 (Orientation at Skin) 结果显示，也可以观察熔接痕的情况，如图 10-42 所示。

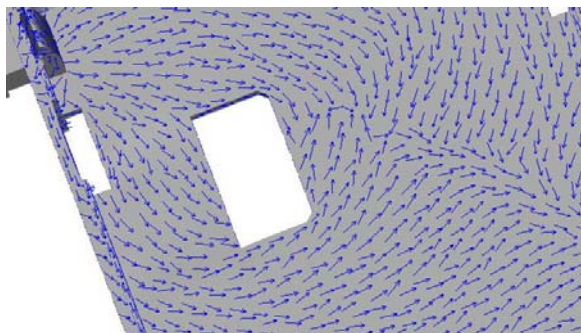


图 10-42 产品表面的分子取向



10.3 改进原始方案

通过对原始设计方案的分析,基本上了解了熔接痕产生的原因:熔体绕方孔流动,不可避免地出现熔体前锋交汇的情况,由于在流动过程中熔体温度降低,从而产生熔接痕现象。

下一步的任务就是根据分析结果,在现有设计的基础上调整和修改分析方案,从而改善缺陷情况。基本修改和调整方案有两种:

- (1) 在熔接痕出现的位置增加加热系统,保证熔体前锋汇合时保持一个较高的温度;
- (2) 改变浇口的位置和形式,避免在产品外观面出现熔体前锋汇合的情况。

下面就分别针对这两种修改方案,利用 Moldflow 进行仿真模拟,以观察实际的效果。

10.3.1 增加加热系统后的分析

经过上面的计算和分析,了解了熔接痕缺陷产生的原因,为改善熔接痕的情况,提出了在模具设计中添加加热系统的修改方案。希望通过加热系统,保证熔体前锋在汇合部位保持一定的温度,从而消除产品外观上的熔接痕缺陷。修改方案如图 10-43 所示。

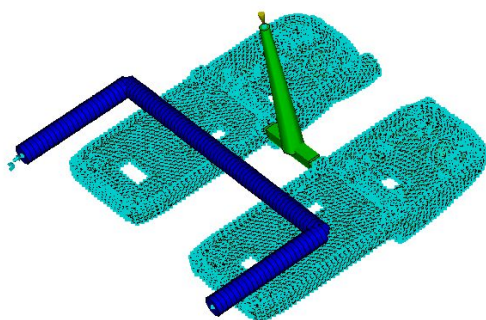


图 10-43 增加加热系统后的设计

加热管中的加热介质为高温油,温度在 90℃ 左右。

- (1) 基本分析模型的复制

以原始设计方案的分析模型 (iges_Study (copy)) 为原形,复制基本的分析模型。

1) 基本分析模型的复制。在项目管理窗口中使用鼠标右键单击已经完成的原始设计方案的 Fill 分析 iges_Study (copy), 在弹出的快捷菜单中选择“拷贝复制”命令,如图 10-44 所示。

2) 分析任务重命名。将新复制的分析模型重命名为 iges_Study (copy) (copy), 重命名之后的项目管理窗口和分析任务窗口如图 10-45 所示。

从分析窗口中可以看到,产品初步设计分析的所有模型和相关参数设置被复制,在此基础上即可添加加热系统,并进行相应的分析计算。



图 10-44 拷贝复制基本模型



图 10-45 基本分析模型设置



(2) 分析类型及顺序的设定

利用 MPI 中的 Cool 分析模块对添加加热系统后的设计方案进行分析。执行“分析”→“设置分析序列”→“流动+冷却 (Cool+Flow)”命令。这时，方案任务窗口中的显示发生变化，如图 10-46 所示。

(3) 加热系统的创建

如图 10-47 所示的加热系统的创建与冷却系统的创建是一样的，其基本尺寸如图 10-48 所示，大致位置位于产品表面熔接痕的上方，加热系统距离产品表面大致为 4~5mm，加热管道的直径为 12mm。

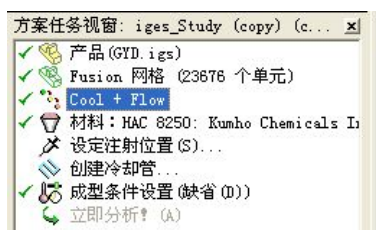


图 10-46 分析任务窗口

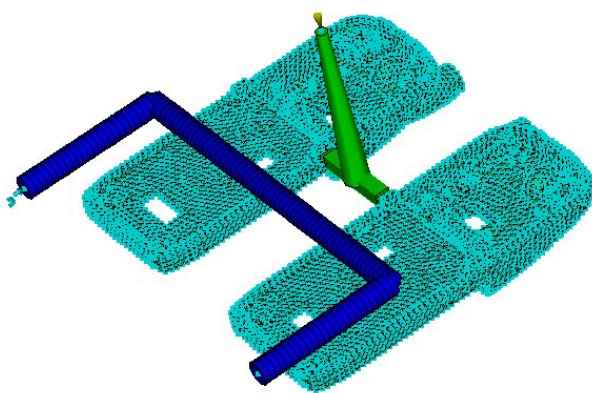


图 10-47 加热系统

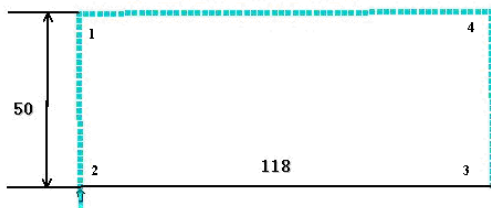


图 10-48 加热系统的尺寸

创建加热管中心线端点。执行“建模→创建节点→偏移”命令，基点选择产品网格模型上的节点 N10587，端点①相对基点 N10587 的偏置向量为(0 -50 0)，如图 10-49 和图 10-50 所示。

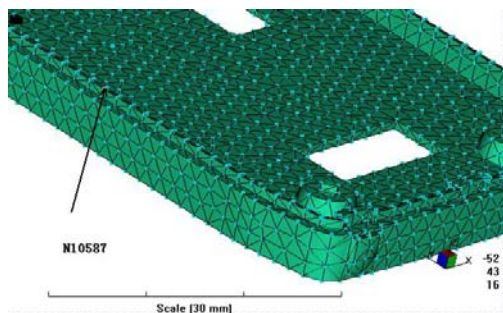


图 10-49 创建加热管中心线端点

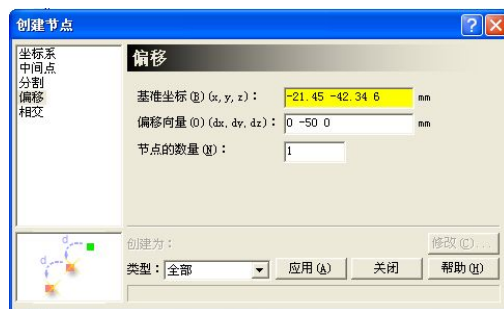


图 10-50 显示最佳浇口位置的中心节点



创建端点①在选择基点时，要保证其后创建的加热系统应该通过产品表面熔接痕的上方。端点②、③、④的创建方法相同，根据如图 10-48 所示的尺寸自行创建。

创建加热系统的中心线。以①、②之间的直线段为例，执行“建模”→“创建曲线”→“创建直线”命令，如图 10-51 所示。

选择第 1 端点（坐标节点①）和第 2 端点（坐标节点②），取消对“自动在曲线端点创建节点”复选框的选择，单击“修改”按钮，弹出如图 10-52 所示对话框。



图 10-51 创建加热管中心线



图 10-52 “赋新属性”对话框

在列表中选择“Channel (default) #1”或者是执行“新建”→“管道”命令，在弹出的对话框（如图 10-53 所示）中设置加热管各项属性及参数，设置完成后返回如图 10-52 所示的对话框，单击“确定”按钮，再返回如图 10-51 所示对话框，单击“应用”按钮。

在图 10-53 中设置加热管的各项参数如下：

- 1) “截面形状是”：圆形。
- 2) “直径”：12mm。
- 3) “冷却管热传导效应系数”：默认值为“1”。
- 4) “管道粗糙度”：默认值为 0.05。
- 5) “模具材料”：Tool steel P-20。

使用同样的方法创建其余加热管的中心线，结果如图 10-54 所示。



图 10-53 设置管道属性

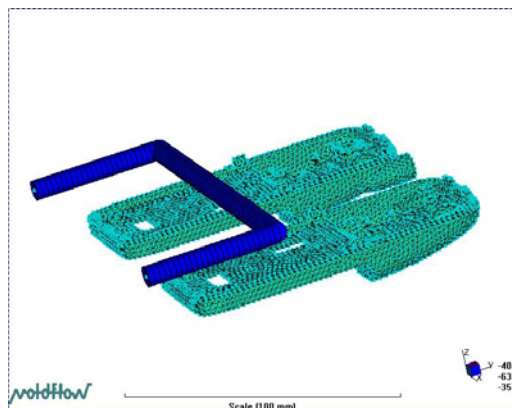


图 10-54 管道位置设定

加热管的杆单元划分。在层管理窗口中新建层 Heat channels，将新建的加热管中心线归入该层，仅显示新建层 Heat channels，执行“网格”→“生成网格”命令，设置杆单元大小



为“2mm”，如图 10-55 所示。

单击“生成网格”按钮，生成杆单元，结果如图 10-56 所示。



图 10-55 “生成网格”对话框

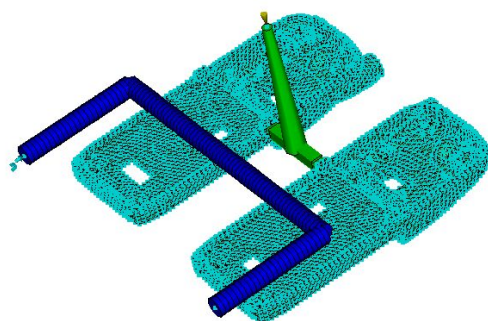


图 10-56 管道杆单元生成结果

设置加热介质的进口及相关参数。执行“分析”→“设定冷却液入口”命令，弹出的对话框如图 10-57 所示。

双击“冷却液入口 属性（缺省）”，弹出的对话框如图 10-58 所示，设置有关参数如下：

- 1) 冷却液：OIL。
- 2) 冷却液控制：指定雷诺数。
- 3) 冷却液雷诺数：10000（表示湍流）。
- 4) 冷却液入口温度：90℃。

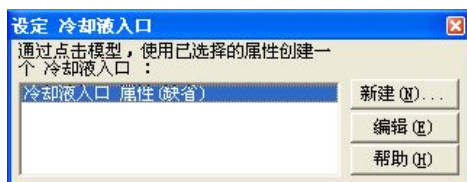


图 10-57 设定冷却液入口



图 10-58 冷却液入口参数

单击“确定”按钮，返回如图 10-57 所示对话框，此时光标变为“大十字叉”，按照图 10-59，为加热管设定进油口位置，完成后单击工具栏中的“保存”按钮。此时方案任务视窗如图 10-60 所示。加热系统创建完成。

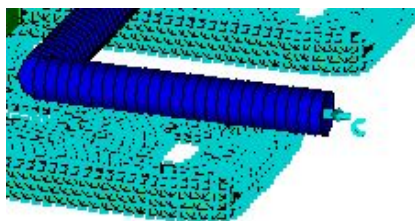


图 10-59 加热系统进油口位置

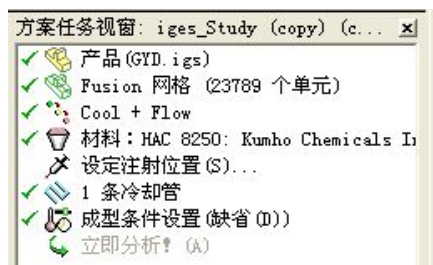


图 10-60 方案任务视窗

(4) 工艺过程参数的设置



修改方案的工艺过程参数不完全选用默认设置，其中一些参数根据生产的实际情况有略微的调整，参数设置过程如下。

(1) 执行“分析→成型条件设置”命令，或者是直接双击方案任务栏窗口中的“成型条件设置”一栏，系统会弹出如图 10-61 所示的对话框，过程参数设置的第 1 页为冷却设置。

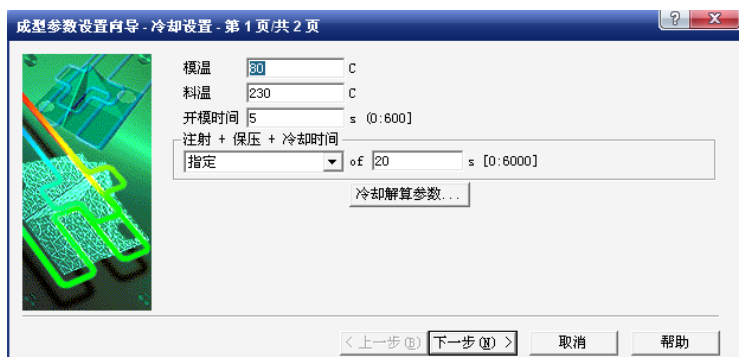


图 10-61 成型参数设置向导

1) 模具表面温度，采用默认值 80℃；

2) 料温，对于本案例是指进料口处的熔体温度，默认值为“230℃”，对于没有浇注系统的情况，则是指熔体进入模具型腔时的温度；

3) 开模时间：是指一个产品注塑、保压、冷却结束到下一个产品注塑开始的时间间隔，默认值为 5s；

4) 注射、保压、冷却时间周期：“Mold-open time”+ “Injection+packing+cooling time”= “Total cycle time”，即“注射、保压、冷却时间”组成一个完整的注塑周期；如图 10-61 所示，选择下拉菜单中的“指定”，这里设定为“20s”；如果选择“自动计算”，则需要编辑开模时产品需要达到的标准，单击“产品顶出条件”，其中包括两项内容，即顶出温度和顶出时凝固百分比，如图 10-62 所示。

5) 高级选项，这里是一些冷却分析迭代计算时的参数设置，包括模温收敛公差、最大模温迭代次数等，一般采用默认值即可，如图 10-63 所示。



图 10-62 产品顶出条件



图 10-63 设置冷却解算参数

(2) 单击“下一步”按钮，进入第 2 页流动设置，如图 10-64 所示。



图 10-64 流动设置

- 1) 填充控制，这里选择默认值“自动”。
- 2) 注塑机由速度控制向压力控制的转换点，这里选择默认值“自动”。
- 3) 保压及冷却过程中的压力控制，默认值采用保压压力与 V/P 转换点的充填压力 (Filling Pressure) 相关联的曲线控制方法，“%充填压力与时间”控制曲线的设置如图 10-65 所示。

在图 10-65 中，%充填压力表示分析计算时，充填过程中 V/P 转换点的填充压力，保压压力为 80% 注射压力，时间轴的 0 点表示保压过程的开始点，也是填充过程的结束点。

4) 高级选项：包含一些注塑材料、注塑过程控制方法、注塑机型号、模具材料和解算模块参数的信息，这里选用默认值。

5) 纤维参数：如果是纤维材料，则会在分析过程中进行纤维定向分析的计算，相关的参数选用默认值。

(3) 单击“完成”按钮，结束过程参数的设置，分析任务窗口显示如图 10-66 所示。



图 10-65 保压控制曲线设置



图 10-66 工艺过程参数设置完成

10.3.2 分析计算

在完成了分析前处理之后，即可进行分析计算，双击任务栏窗口中的“立即分析”选项，解算器开始计算，执行“分析→任务管理器”命令，可以看到任务队列，如图 10-67 所示。

通过分析计算的输出信息“屏幕输出”，可以掌握在整个注塑成型仿真过程中的一些重要信息。



图 10-67 任务队列

(1) 模型检查中的警告信息

如图 10-68 所示, 可以看到分析计算进行前在产品模型检查中系统发出的警告信息, 这些警告信息可以为继续优化分析模型提供帮助。以图 10-68 为例, 警告信息指出在产品的网格模型中有两对三角形单元相距太近, 通过单元编号, 可以找到这些单元, 对于确实存在的问题要进行修改, 在本案例中所提到的两对三角形单元并没有问题。

警告信息在屏幕输出中极为重要, 通过在“屏幕输出”中查找有关警告信息, 可以发现产品分析模型中可能存在的问题, 通过解决这些不易发现的问题, 能够保证分析结果的准确性, 在“屏幕输出”中还存在的一类错误信息 (Error), 通过错误信息可以找到计算分析失败的原因。

```

** WARNING ** Two elements are too close
                Check element      8898  in the Part_model and element      8875  in the Part_model

** WARNING ** Two elements are too close
                Check element      20853  in the Part_model and element      20830  in the Part_model
  
```

图 10-68 警告信息

(2) 充填分析过程信息

如图 10-69 所示, V/P 转换发生在型腔 96.94%被充满的时候, 此时的充填压力在 92.59MPa 左右, 由此根据保压曲线的设定, 保压压力为 74.07MPa (80 % Filling Pressure), 1.09s 的时间型腔填充完成。

(3) 保压分析过程信息

如图 10-70 所示, 保压阶段从 0.83s 开始, 经过 10s 的恒定保压, 保压压力线性降低, 在 10.83s 压力降为 0, 保压结束。

0.12	13.66	24.30	0.16	24.34	U
0.16	18.22	30.69	0.37	27.08	U
0.20	22.94	34.52	0.64	27.16	U
0.24	27.68	38.68	1.10	27.23	U
0.28	32.41	42.41	1.66	27.55	U
0.32	37.11	45.82	2.33	27.72	U
0.36	41.94	48.66	3.03	27.90	U
0.39	46.62	50.99	3.74	28.08	U
0.43	51.53	53.01	4.49	28.12	U
0.47	56.26	55.90	5.69	28.05	U
0.51	60.92	58.43	6.87	28.09	U
0.55	65.77	61.14	8.26	28.17	U
0.59	70.47	64.45	10.05	28.08	U
0.63	75.06	69.56	12.99	27.98	U
0.67	78.96	80.11	24.46	29.52	U
0.71	83.96	74.91	23.43	28.43	U
0.75	88.54	81.55	26.97	28.26	U
0.79	93.01	89.14	32.35	28.41	U
0.81	96.03	92.59	35.44	28.23	U/P
0.82	96.94	74.07	33.64	10.28	P
0.83	97.16	74.07	33.30	10.93	P
0.87	98.43	74.07	33.18	5.87	P
0.91	99.04	74.07	33.72	3.62	P
0.95	99.39	74.07	34.13	2.42	P
0.99	99.57	74.07	34.30	1.79	P
1.03	99.78	74.07	34.23	1.32	P
1.06	99.76	74.07	35.01	0.99	P
1.09	100.00	74.07	35.99	0.76	Filled

图 10-69 充填分析过程信息

Time (s)	Packing (%)	Pressure (MPa)	Clamp force (tonne)	Status
1.09	0.00	74.07	35.99	P
2.00	4.81	74.07	14.78	P
3.00	10.10	74.07	5.89	P
4.00	15.38	74.07	3.90	P
4.75	19.35	74.07	3.46	P
5.75	24.64	74.07	3.20	P
6.75	29.92	74.07	3.07	P
7.75	35.21	74.07	2.99	P
8.75	40.50	74.07	2.94	P
9.50	44.46	74.07	2.90	P
10.50	49.75	74.07	2.87	P
10.83	51.50	0.00	2.24	P
10.83				Pressure released
11.47	54.92	0.00	1.55	P
12.47	60.21	0.00	1.53	P
13.47	65.49	0.00	1.52	P
14.22	69.46	0.00	1.51	P
15.22	74.75	0.00	1.50	P
16.22	80.03	0.00	1.50	P
17.22	85.32	0.00	1.50	P
17.97	89.29	0.00	1.50	P
18.97	94.57	0.00	1.50	P
19.97	99.86	0.00	1.49	P
20.22	100.00	0.00	1.49	P

图 10-70 保压分析过程信息



10.3.3 结果分析

分析计算结束，MPI 生成了流动和冷却的分析结果，方案分析任务窗口如图 10-71 所示。

(1) 熔接痕 (Weld Lines)

如图 10-72 所示，为产品熔接痕与充填时间的叠加结果，与图 10-39 相比较，可以清楚地看到在添加了加热管后，熔接痕仍然存在，未能消除。

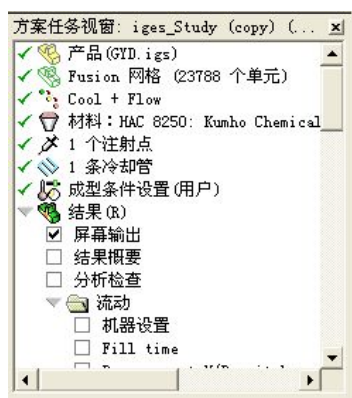


图 10-71 分析结果列表

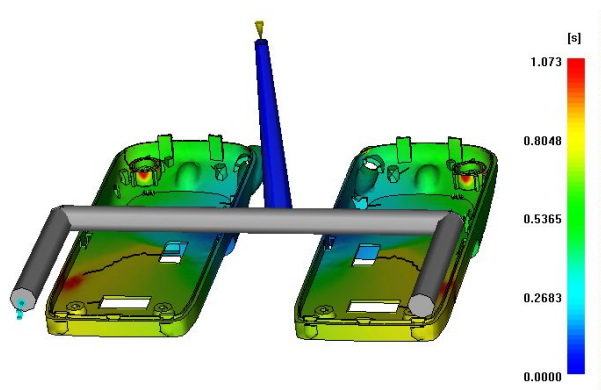
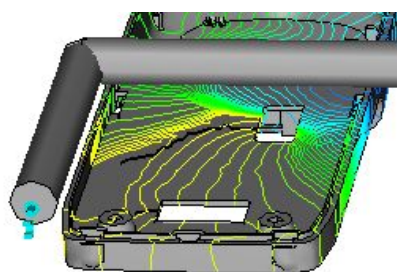


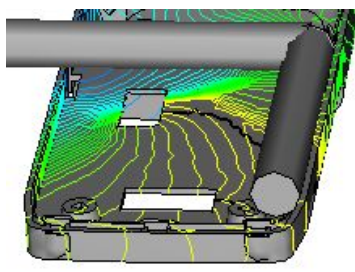
图 10-72 熔接痕与充填时间的叠加结果

(2) 充填时间 (Fill Time)

如图 10-73 所示，可以看到在注塑过程中区域熔体的流动情况。



(a) 左侧型腔区域



(b) 右侧型腔区域

图 10-73 充填时间 (Fill Time)

(3) 表面分子取向 (Orientation at Skin)

如图 10-74 所示，产品表面的分子取向依然表明该位置容易产生熔接痕现象。

(4) 冷却分析结果

如图 10-75 所示，加热管通过的区域温度变化不大，对于熔接痕的消除没有一定的作用。

通过模拟仿真结果的分析，可以看出增加加热系统对于熔接痕缺陷基本上没有一定的改善作用，不能从根本上消除熔接痕。通过修改产品浇口的位置和形式能够从根本上消除产品表面的熔接痕缺陷。



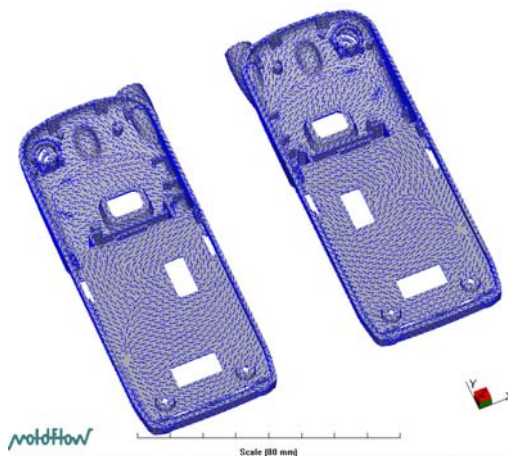


图 10-74 产品表面的分子取向

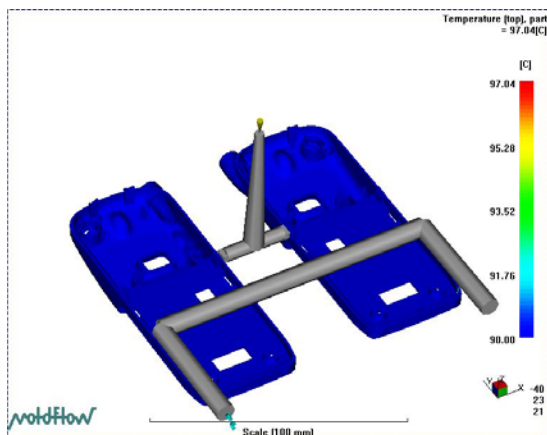


图 10-75 冷却分析结果

10.4 对浇口位置和形式改变后的分析

在分析提出的设计方案中，始终采用的是侧浇口的形式，对于手机底座上的圆孔形状的结构，在熔体充模的过程中必然会出现熔体前锋绕过圆孔后汇合的情况，从而不可避免地出现熔接痕缺陷，如图 10-76 所示。

在分析了熔接痕产生的原因之后，为了能够从根本上解决产品表面的熔接痕问题，采用点浇口转盘形浇口，从而避免熔体前锋在产品表面交汇的情况，如图 10-77 所示。

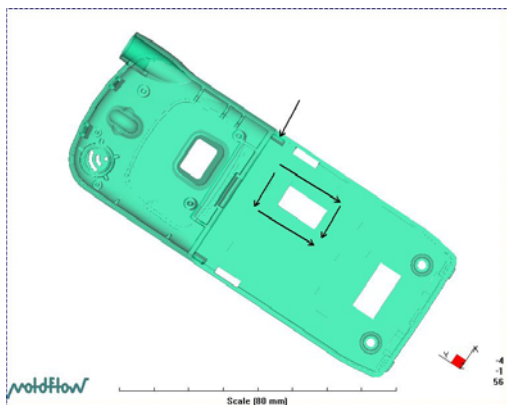


图 10-76 侧浇口方案中熔体流动方向

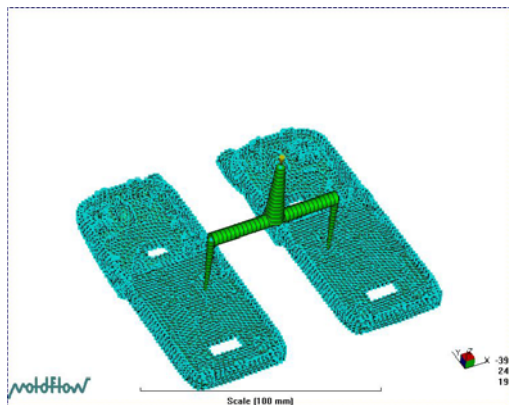


图 10-77 点浇口转盘形浇口设计

采用点浇口转盘形浇口，盘形浇口实际上已经成为产品的一部分，在完成注塑后需要将其从手机外壳上冲切掉。在建立产品的网格模型时，盘形浇口作为产品的一部分利用三角形单元创建。下面具体介绍浇口形式后的分析过程。

10.4.1 分析前处理

将浇口形式由侧浇口调整为采用点浇口转盘形浇口，分析前处理主要包括以下内容：复制产品的基本网格模型；创建盘形浇口网格；型腔的布局；浇注系统的创建；材料选择及工

艺过程参数的设定。

(1) 基本网格模型的复制

以项目 `iges_Study` 为原型，进行产品基本网格模型的复制。在项目管理窗口中右击模型 `iges_Study`，在弹出的快捷菜单中执行“拷贝复制”命令，如图 10-78 所示。

分析任务重命名。将新复制的网格模型重命名为 `iges_Study new`，重命名之后的项目管理窗口和方案任务窗口如图 10-79 所示。

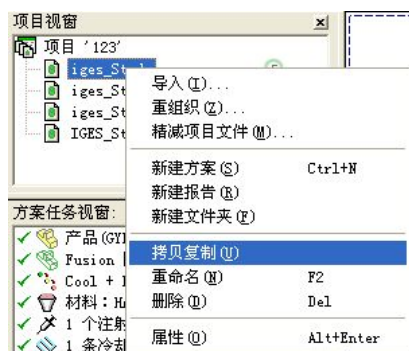


图 10-78 复制基本网格模型



图 10-79 分析任务重命名

从分析任务窗口中可以看到，基本网格模型 (`iges_Study`) 的所有模型和相关参数设计被复制。

(2) 盘形浇口的创建

盘形浇口在 MPI 中被作为产品的一部分，用三角形网格单元表示，其创建方法有两种：一种是建立产品 3D 造型时将盘形浇口作为产品的一部分，然后导出 STL 格式文件，在此基础上直接划分网格。另一种是在 MPI 系统中，利用原始设计的基本网格模型，直接创建三角形网格单元来表示盘形浇口。为了简便起见，采用第二种方法，创建过程如下：

针对手机外壳，如图 10-80 所示位置处，删除方孔孔壁四周的三角形网格，如图 10-81 所示，执行“编辑”→“删除”命令。

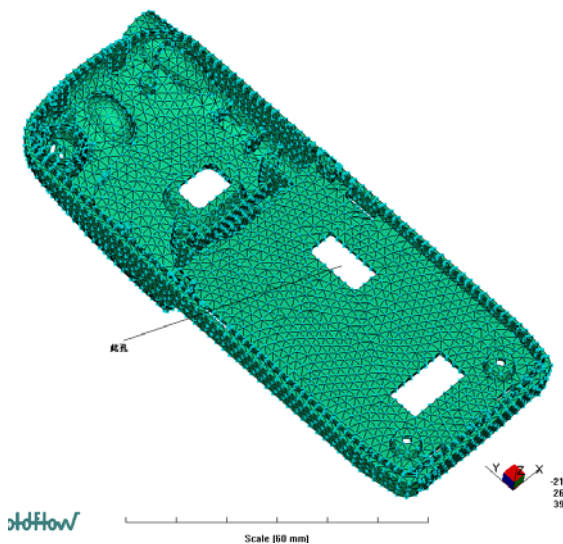
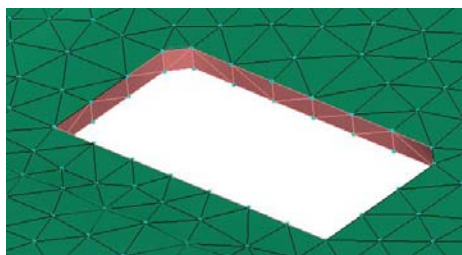
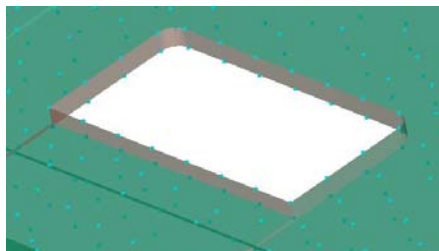


图 10-80 方孔





(a)



(b)

图 10-81 删除方孔孔壁处的三角形网格

利用三角形网格填补方孔空洞。执行“网格→网格工具→填充孔”命令，系统会弹出“网格工具”对话框，如图 10-82 所示，选择方孔侧壁上的任意一点，单击“搜索”按钮，系统会自动搜索方孔侧壁，如图 10-83 所示。

单击“应用”按钮，填充孔结果如图 10-84 所示。

使用同样的方法对圆孔下侧孔洞进行修补。完成了盘形浇口的创建后，需要对产品网格状态进行分析，执行“网格→网格统计”命令，网格诊断结果如图 10-85 所示。



图 10-82 “网格工具”对话框

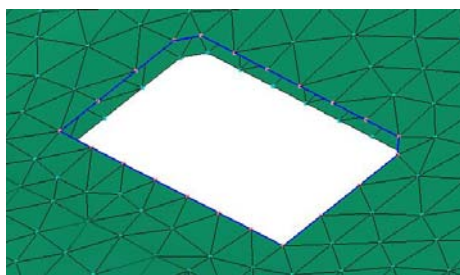


图 10-83 自动搜索方孔侧壁

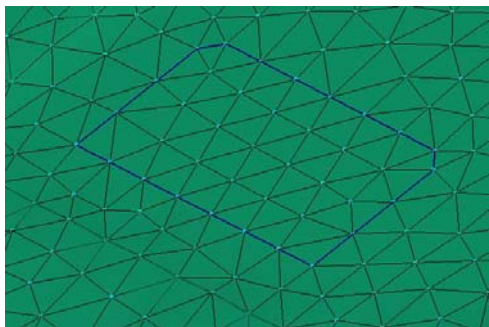


图 10-84 填充孔结果

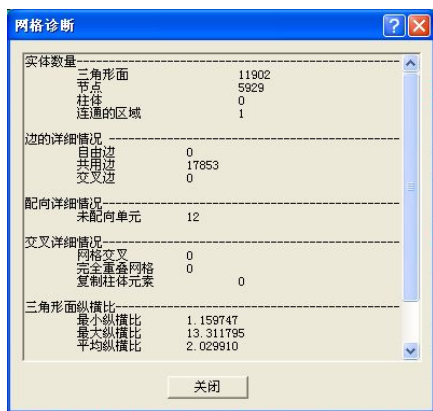


图 10-85 网格诊断结果

通过网格诊断结果，可以发现 12 个单元存在定向问题，执行“网格→方向”命令，系统会弹出如图 10-86 所示的“网格配向诊断”对话框。





图 10-86 “网格配向诊断”对话框

单击“显示”按钮，将会显示网格模型的单元定向情况，如图 10-87 所示。

在图 10-87 中，蓝色单元表示顶面 (Top)，红色单元表示底面 (Bottom)，修改的目标就是消除红色单元。执行“网格→调整所有网格方向”命令，修改结果如图 10-88 所示，盘形浇口创建完成。

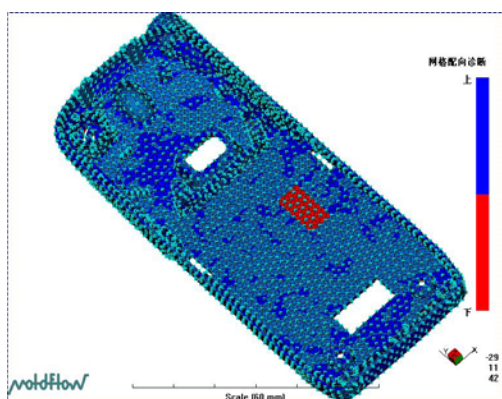


图 10-87 网格单元的定向情况

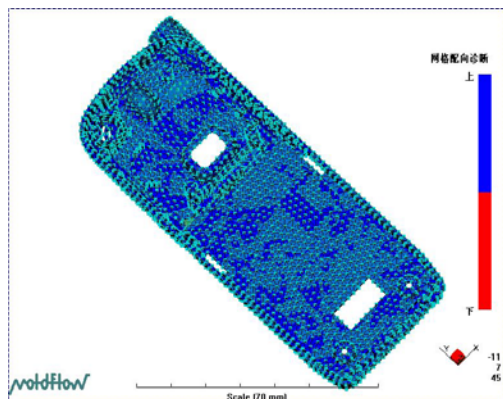


图 10-88 网格定向修改结果

(3) 型腔的复制布局

由于在设计方案中仅仅修改了浇口形式和相应的浇注系统，因此，型腔布局没有变化，镜像复制结果如图 10-89 所示。

(4) 点浇口浇注系统的创建

浇注系统的详细情况如图 10-90 所示。其中，主流道为圆锥形，上、下端口分别为 4mm 和 9mm，截面为圆形，长度为 30mm；分流道截面为圆形，直径为 6mm；与盘形浇口直接相连的浇口为圆锥形，小端口直径为 1.5mm，锥角为 2° ，长度为 30mm。

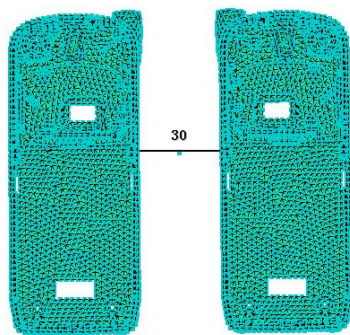


图 10-89 镜像复制结果

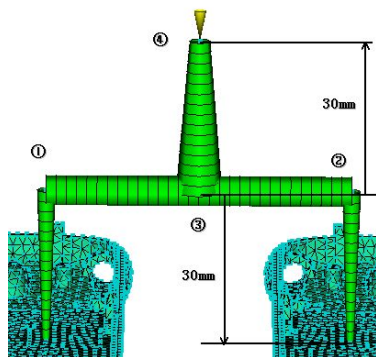


图 10-90 点浇口转盘形浇口浇注系统

浇注系统的创建过程如下。创建流道中心线的端点①、②、③、④。执行“建模→创建节点→偏移”命令，基点选择盘形浇口的中点，如图 10-91 所示 N12604，端点①、②相对盘形浇口中点的偏置向量为 (0 0 30)，端点③为端点①、②的中点，端点④相对端点③的偏置向量为 (0 0 30)。

创建与盘形浇口相连的圆锥形浇口的中心线。首先创建左侧浇口中心线，其端点为 N12604 和节点①，执行“建模→创建曲线→直线”命令，弹出“创建曲线”对话框，如图 10-92 所示。

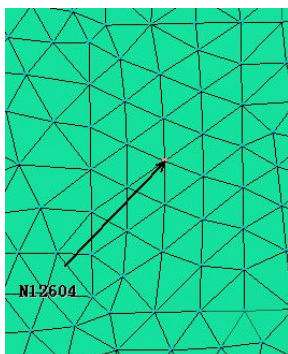


图 10-91 基点为盘形浇口中点 N12604

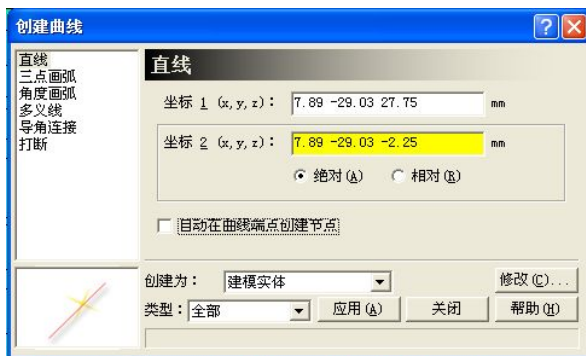


图 10-92 “创建曲线”对话框

中心线的端点分别选择节点 N12604 和节点①，取消对“自动在曲线端点创建节点”复选框的选择，单击“修改”按钮，设置冷浇口形状属性，弹出“赋新属性”对话框，如图 10-93 所示。

在名称列表中选择“Cold gate (default) #1”，如果没有该属性可通过单击“新建”按钮进行新建，单击“冷浇口”按钮可以设置浇口形状属性，弹出的对话框如图 10-94 所示。



图 10-93 “赋新属性”对话框

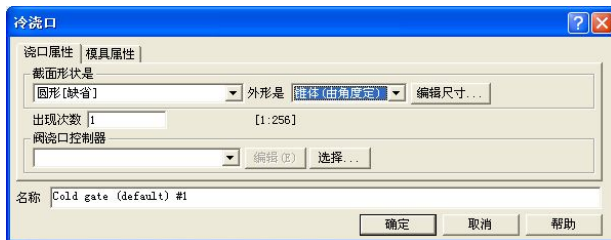


图 10-94 “冷浇口”对话框

相关参数的设置如下：

- 1) “截面形状是”：圆形，即 Circular；
- 2) “外形是”：锥体（由角度决定）；
- 3) “出现次数”为：1。

单击“编辑尺寸”按钮，弹出的“截面尺寸”对话框如图 10-95 所示。

始端直径为“1.5mm”，锥体角度为“2°”，单击“确定”按钮返回如图 10-94 所示对话框。



框,单击对话框中的“模具属性”选项卡,选择模具材料为 P-20 号钢,参数设置完成。单击“确定”按钮返回如图 10-92 所示对话框,单击“应用”按钮,完成浇口中心线的创建。使用同样的方法创建另一浇口的中心线,其端点为 N13009 和节点②。

创建分流道的中心线。首先创建一侧的分流道中心线,其端点为节点①和节点③,执行“建模→创建曲线→直线”命令,弹出的对话框如图 10-96 所示。



图 10-95 “截面尺寸”对话框

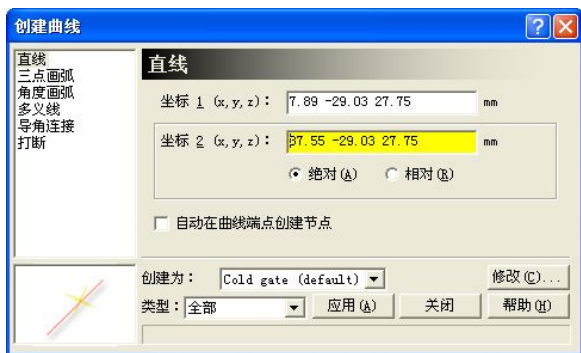


图 10-96 创建分流道中心线

中心线的端点分别选择节点①和节点③,取消对“自动在曲线端点创建节点”复选框的选择,单击“修改”按钮,设置冷流道属性,弹出的对话框如图 10-97 所示。

在列表中选择“Cold runner (default) #1”,如果没有该属性可通过单击“新建”按钮进行新建,单击“冷流道”按钮可以设置冷流道形状属性,弹出的对话框如图 10-98 所示。



图 10-97 “赋新属性”对话框



图 10-98 设置冷流道属性

相关参数的设置选择如下:

- 1) “截面形状是”: 圆形;
- 2) “外形是”: 柱体;
- 3) “出现次数”: 为: 1。

单击“编辑尺寸”按钮,弹出“截面尺寸”对话框,如图 10-99 所示。

圆形截面直径为“6mm”,单击“确定”按钮返回如图 10-98 所示对话框,选择模具属性为 P-20 号钢,参数设置完成。单击“确定”按钮返回如图 10-96 所示对话框,单击“应用”按钮,完成一侧的分流道中



图 10-99 “截面尺寸”对话框



心线的创建。使用同样的方法创建另一侧分流道的中心线，其端点为节点②和节点③。

创建主流道的中心线，其端点为节点③和镜像中心点。执行“建模”→“创建曲线”→“直线”命令，弹出的对话框如图 10-100 所示。

中心线的端点分别选择节点④和节点③，取消对“自动在曲线端点创建节点”复选框的选择，单击“修改”按钮，设置主流道形状属性，弹出的对话框如图 10-101 所示。

在列表中选择“Cold sprue (default) #1”，如果没有该属性可通过单击“新建”按钮进行新建，单击“冷竖浇道”按钮，弹出“冷竖浇道”对话框，如图 10-102 所示。

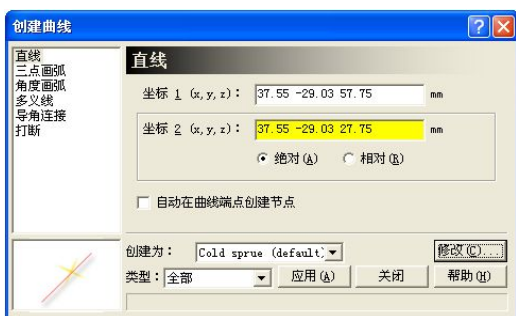


图 10-100 创建主流道中心线



图 10-101 设置主流道形状属性

相关参数的设置如下：

外形是：锥形体（由端部尺寸）。

单击“编辑尺寸”按钮，弹出“截面尺寸”对话框，如图 10-103 所示。



图 10-102 “冷竖浇道”对话框



图 10-103 “截面尺寸”对话框

始端直径为“4mm”，终端直径为“9mm”，单击“确定”按钮返回如图 10-102 所示对话框，选择“模具属性”选项卡后选择模具材料为 P-20 号钢，参数设置完成，单击“确定”按钮返回如图 10-100 所示对话框，单击“应用”按钮，完成一侧的主流道中心线的创建。

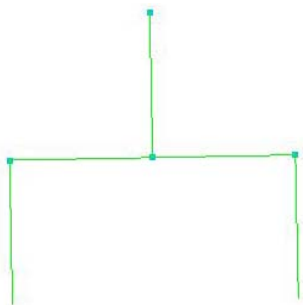


图 10-104 仅显示浇注系统

浇注系统的杆单元划分。首先利用层管理工具将浇口、分流道和主流道的中心线分别归入 Gate、Runner、Sprue 3 层，然后，仅显示浇注系统这 3 层对浇注系统进行杆单元的划分，如图 10-104 所示。

执行“网格”→“生成网格”命令，设置杆平均边长为“2mm”，如图 10-105 所示，单击“生成网格”按钮，生成如图 10-106 所示浇注系统杆单元。



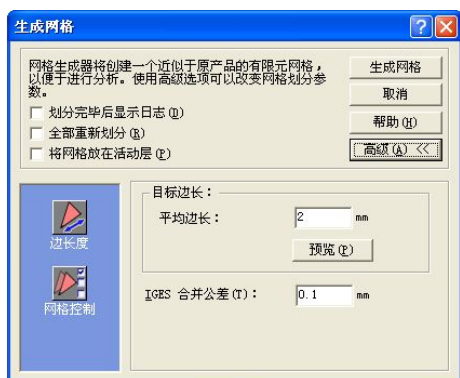


图 10-105 “生成网格”对话框

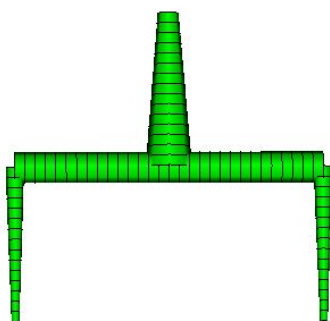


图 10-106 浇注系统杆单元

网格单元的连通性检验。在完成了浇注系统的创建和单元划分之后，要对浇注系统杆单元与产品的三角形的连通性进行检查，从而保证分析过程的顺利进行，显示所有产品的三角形单元以及浇注系统的单元。执行“网格→连通性”命令，弹出“网格连通性诊断”对话框，如图 10-107 所示。

选择任一单元作为起始单元，单击“显示”按钮，得到网格连通性诊断结果，如图 10-108 所示，所有网格均显示为红色，表示相互连通。

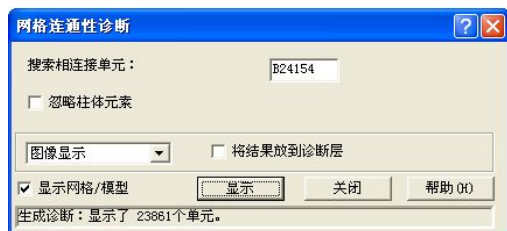


图 10-107 “网格连通性诊断”对话框

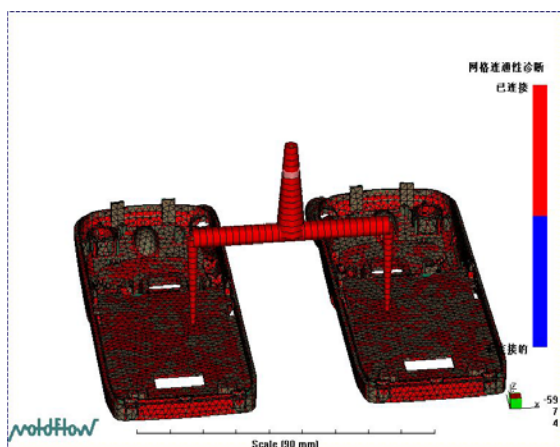


图 10-108 网格连通性诊断结果

设置浇口位置。在方案任务窗口中，双击“设置注射位置”，单击进料口节点，选择完成后单击工具栏中的“保存”按钮进行保存。浇注系统创建完成。

在材料选择及工艺过程参数的设定中，工艺过程参数的设置采用默认值。

10.4.2 分析计算和结果分析

在完成了分析前处理之后，即可进行分析计算，双击任务栏窗口中的“立即分析”选项，开始计算，整个计算过程由系统自动完成。

分析结果结束，MPI 生成了改变浇口形式后的手机外壳填充过程分析结果，通过对计算结果的分析以及与前不同方案分析结果的比较，可以检验采用点浇口转盘形浇口后对于成型过程和产品表面质量的影响。



(1) 熔接痕

采用点浇口转盘形浇口, 熔体充模完成后的熔接痕与充填时间的叠加显示结果如图 10-109 所示。

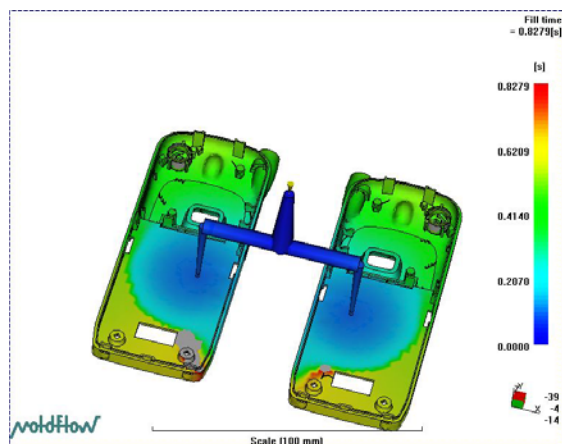


图 10-109 熔接痕与充填时间的叠加结果

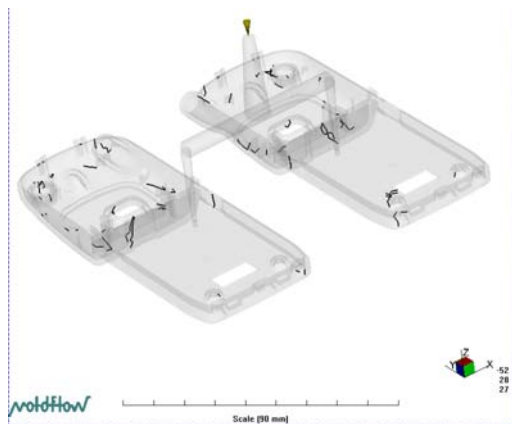


图 10-110 熔接痕的分布

将图 10-110 的结果与原始设计方案的分析结果, 即图 10-38 相比较, 可以发现, 采用点浇口转盘形浇口之后产品表面基本消除了较大的熔接痕。

(2) 表面分子取向

采用点浇口转盘形浇口之后, 熔体从盘形浇口中心向四周发散式流动, 最终充满型腔, 熔体前锋在产品表面没有交汇的现象, 因此从根本上消除了熔接痕缺陷。

手机外壳的表面分子取向如图 10-111 所示。

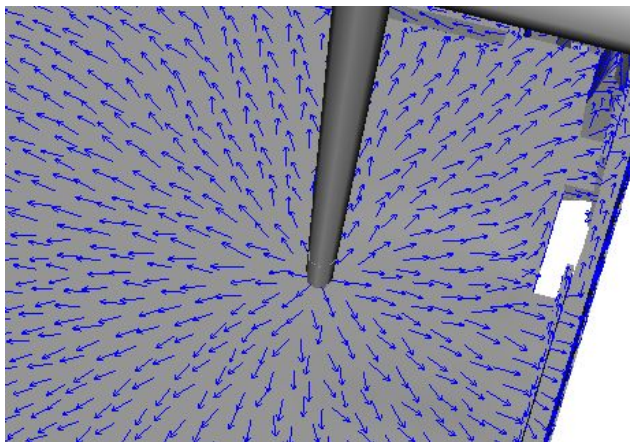


图 10-111 产品表面分子取向

经过对方案的调整和修改, 以及 MPI 的辅助成型分析, 最终在保持原有设计的基础上, 通过改变产品的浇口位置和形式, 从根本上解决了较大熔接痕缺陷的问题。

11.1 流动模拟结果分析

Moldflow 的所有信息都在屏幕输出文件和结果概要体现出来，研究每次分析的意义非常重要。

屏幕输出文件和结果概要都包含了一些分析的关键结果的总结性信息。屏幕输出文件还包含如图 11-1 所示的附加输出，表明分析正在进行，同时还提供重要信息。从中可以看出分析使用的压力和锁模力的大小、流率的大小和使用的控制类型。

Filling phase: Status: V = Velocity control						
P = Pressure control						
V/P= Velocity/pressure switch-over						
Time	Volume	Pressure	Clamp force	Flow rate	Status	
(s)	(%)	(MPa)	(tonne)	(cm ³ /s)		
0.25	4.20	7.71	4.34	441.92	V	
0.50	8.87	12.20	16.95	485.10	V	
0.74	13.48	15.99	38.17	480.56	V	
0.98	17.98	20.85	79.31	480.06	V	
1.23	22.65	25.65	134.77	484.03	V	
1.47	27.23	30.39	202.10	485.47	V	
1.72	31.81	35.11	282.36	488.61	V	
1.97	36.58	40.06	381.25	491.44	V	
2.21	41.22	44.52	483.00	494.45	V	
2.45	45.83	49.45	611.51	494.44	V	
2.70	50.57	54.59	765.69	492.31	V	
2.95	55.15	59.99	937.90	496.41	V	
3.19	59.67	64.97	1105.54	499.49	V	
3.43	64.36	70.14	1291.49	500.91	V	
3.68	69.11	75.35	1494.82	502.35	V	
3.92	73.66	80.19	1699.99	503.89	V	
4.17	78.43	85.30	1934.89	505.82	V	
4.41	83.13	90.23	2184.04	506.97	V	
4.66	87.74	95.01	2439.39	508.52	V	
4.91	92.48	100.01	2726.84	509.75	V	
5.08	95.68				V/P	
5.08	95.68	106.06	3112.09	503.26	P	
5.15	96.54	84.85	2592.91	247.17	P	
5.40	98.17	84.85	3007.69	156.82	P	
5.71	98.99	84.85	3399.84	82.69	P	
5.90	99.38	84.85	3477.54	64.25	P	
6.14	99.73	84.85	3537.26	49.34	P	
6.37	99.97	84.85	3585.52	38.73	P	
6.38	99.98	84.85	3592.73	37.66	P	
6.39	100.00	84.85	3599.93	37.66	Filled	

图 11-1 充模分析的屏幕输出文件



屏幕输出文件和结果概要都有与图 11-2 相似的部分。它同时包含了分析过程中（第一部分）和分析结束时的关键信息。使用这些信息可以快速查看这些变量，从而判断是否需要详细分析某一结果，以发现问题。

Filling phase results summary for the part :		
Bulk temperature - maximum	(at 4.906 s) =	252.5450 C
Bulk temperature - 95th percentile	(at 5.082 s) =	251.2430 C
Bulk temperature - 5th percentile	(at 6.389 s) =	214.1860 C
Bulk temperature - minimum	(at 6.379 s) =	105.0260 C
Wall shear stress - maximum	(at 6.389 s) =	0.6826 MPa
Wall shear stress - 95th percentile	(at 0.249 s) =	0.3107 MPa
Shear rate - maximum	(at 4.906 s) =	4725.2798 1/s
Shear rate - 95th percentile	(at 0.249 s) =	2489.9800 1/s
End of filling phase results summary for the part :		
Total part weight	=	2512.5301 g
Bulk temperature - maximum	=	247.0680 C
Bulk temperature - 95th percentile	=	244.5620 C
Bulk temperature - 5th percentile	=	214.1860 C
Bulk temperature - minimum	=	105.0370 C
Bulk temperature - average	=	233.7720 C
Bulk temperature - RMS deviation	=	12.9527 C
Wall shear stress - maximum	=	0.6826 MPa
Wall shear stress - 95th percentile	=	0.1478 MPa
Wall shear stress - average	=	0.0926 MPa
Wall shear stress - RMS deviation	=	0.0443 MPa
Frozen layer fraction - maximum	=	0.5465
Frozen layer fraction - 95th percentile	=	0.1257
Frozen layer fraction - 5th percentile	=	0.0649
Frozen layer fraction - minimum	=	0.0000
Frozen layer fraction - average	=	0.0898
Frozen layer fraction - RMS deviation	=	0.0263
Shear rate - maximum	=	2176.5300 1/s
Shear rate - 95th percentile	=	58.9857 1/s
Shear rate - average	=	22.8884 1/s
Shear rate - RMS deviation	=	27.0947 1/s

图 11-2 结果概要输出

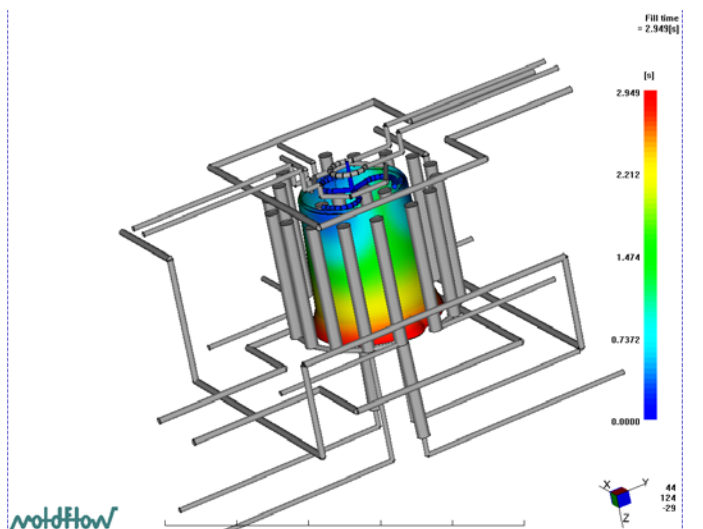
下面以塑件水煲为例，按照 Moldflow 屏幕输出的结果进行逐项解释，并列出参数的对



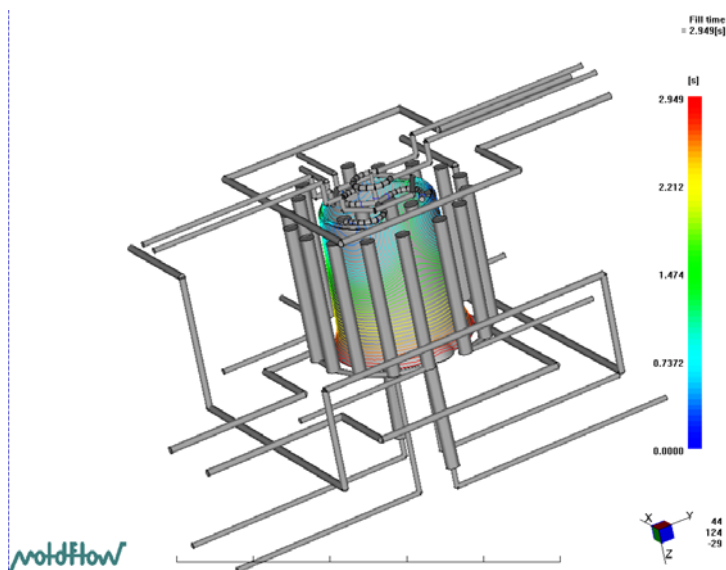
比情况，实现利用 Moldflow 注塑模具分析软件，针对制品结构进行充填、保压、冷却、变形等流变分析，并进行工艺参数、浇口位置、冷却系统等方面的设计，比较分析结果，综合分析其合理性。

(1) 充模时间 (Fill Time)

充模时间显示的是熔体流动前沿的扩展情况，其默认绘制方式是阴影图，如图 11-3 (a) 所示，但使用云纹图，如图 11-3 (b) 所示可更容易解释结果。云纹线的间距应该相同，这表明熔体流动前沿的速度相等。塑件的填充应该平衡。当制件平衡充模时，制件的各个远端在同一时刻充满。对大多数分析，充模时间是一个非常重要的关键结果。充模时间在可能的情况下要尽可能缩短，否则会带来一系列的不良结果。图中填充等高线分布均匀，流动平衡。在 2.949s 时胶料完全充满型腔。



(a) 阴影图显示的熔体流动



(b) 云纹图显示的熔体流动

图 11-3 水煲塑件注射成型流动模拟充模时间显示图



（2）压力（Pressures）

有几种不同的压力图，每种以不同的方式显示制件的压力分布。所有压力图显示的都是制件某个位置（一个节点）、或某一时刻的压力，如图 11-4 所示。

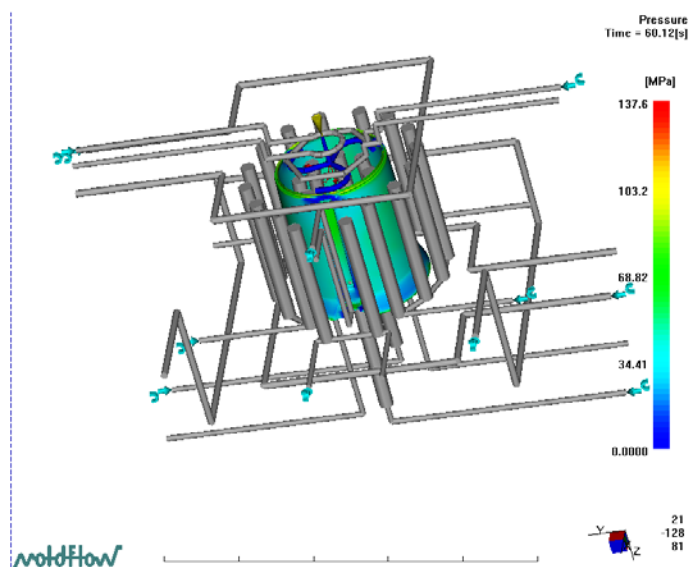


图 11-4 水煲塑件注射成型流动模拟压力显示图

使用的最大压力应低于注射机的压力极限，很多注射机的压力极限为 140MPa。模具的设计压力极限最好为 100MPa 左右。如果所用注射机的压力极限高于 140MPa，则设计极限可相应增大。模具的设计压力极限应大约为注射机极限的 80%。假如分析没有包括浇注系统，设计压力极限应为注射机极限的 50%。

和充模时间一样，压力分布也应该平衡。压力图和充模时间图看起来应该十分相似，如果相似，则充模时制件内就只有很少或没有潜流。

压力（Pressure）是一个中间结果，每一个节点在分析时间内的每一时刻的压力值都记录了下来。因此，可以通过动画观察压力随时间变化的情况。压力分布应该平衡，或者在保压阶段应保证均匀的压力分布和几乎无过保压。压力要低于注射机的极限压力的 80%，才能保护维持注射机的使用寿命。

（3）压力（充模结束时）（Pressure（End of Filling））

充模结束时的压力属于单组数据，该压力图（如图 11-5 所示）是观察制件的压力分布是否平衡的有效工具。因为充模结束时的压力对平衡非常敏感，因此，如果此时的压力图分布平衡，则制件就很好地实现了平衡充模。此时的压力平衡和流道尺寸、进胶点位的关系最为密切，可以从这两个角度进行调整。充模结束时的压力分布是关键数据，它分布更均匀，更符合我们的期望值。

（4）体积/压力控制转换时的压力（Pressure at V/P Switchover）

体积/压力控制转换时的压力属于单组数据，该压力图同样是观察制件的压力分布是否平衡的有效工具。通常，体积/压力控制转换时的压力在整个注塑成型周期中是最高的，此时压力的大小和分布可通过该压力图进行观察。同时，也可以看到在控制转换时制件充填了多少，未充填部分以灰色表示，如图 11-6 所示。



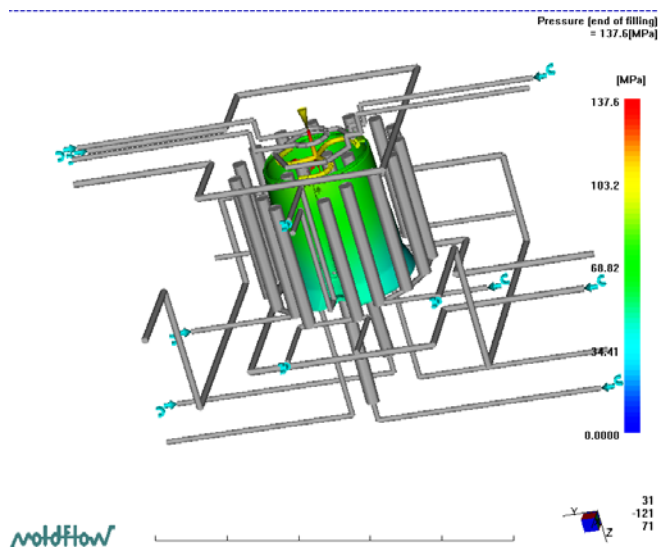


图 11-5 水煲塑件注射成型流动模拟压力（充模结束时）显示图

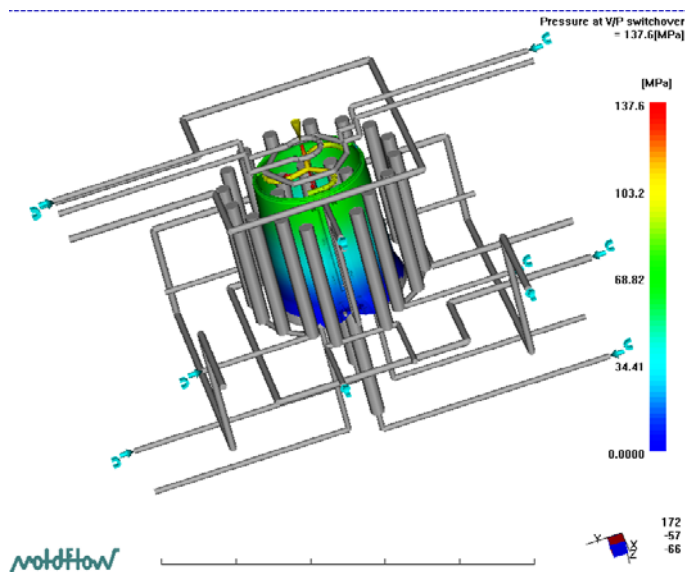


图 11-6 水煲塑件注射成型流动模拟体积/压力控制转换时的压力

(5) 注射位置压力：XY 图（Pressure at injection location: XY Plot）

注射节点是观察二维 XY 图的常用节点。通过注射位置压力的 XY 图可以容易地看到压力的变化情况。当聚合物熔体被注入型腔后，压力持续增高。假如压力出现尖峰（通常出现在充模快结束时），表明制件没有很好达到平衡充模，或者是由于流动前沿物料体积的明显减少使流动前沿的速度提高，如图 11-7 所示。

(6) 体积温度（Bulk Temperatures）

体积温度是速度加权平均温度，有两种体积温度图，以下将分别给出其定义。模具中的聚合物温度在整个注塑成型周期中是不断变化的，它不仅随时间变化，而且沿壁厚也是变化的。体积温度反映了聚合物内部能量的传递。当没有聚合物流动时，体积温度就是截面上温度的简单平均值；当有聚合物流动时，截面上流速越快的部分，将给予越大的权重。



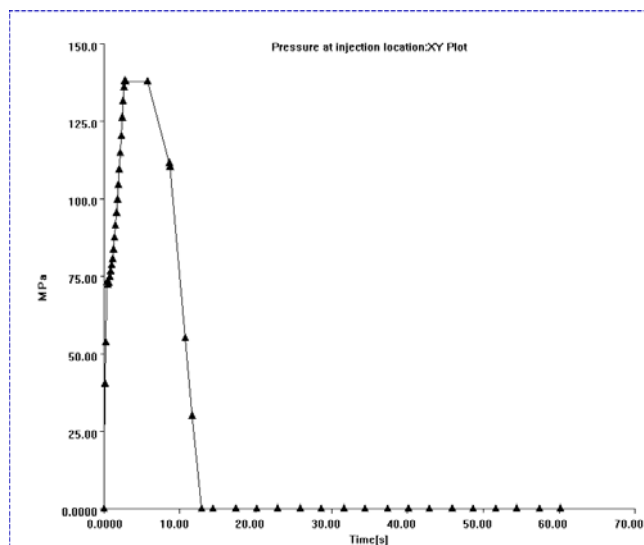


图 11-7 水煲塑件注射成型流动模拟注射位置压力

体积温度反映了制件内部所产生的剪切热。如果制件内部有强烈的剪切作用，制件的温度将升高。在充模阶段，体积温度图应非常均匀，其变化以不超过 5°C 为宜。实际应用时允许有较大的温度降，通常高至 20°C 的温降都是可以接受的。假如有区域产生了过保压，体积温度将显著下降。这表明过保压已成为一个问题，在可能的情况下应加以改进。当体积温度范围过大时，通常缩短注射时间是减小其范围的最佳方法。体积温度是中间数据结果，通过它可以看到温度随时间变化的情况，如图 11-8 所示。

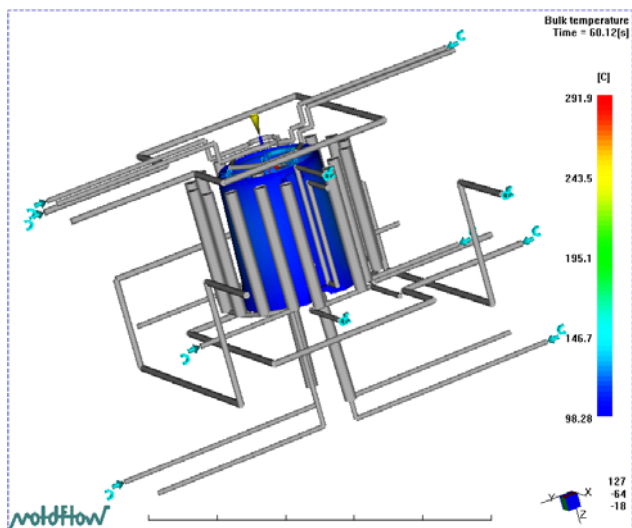


图 11-8 水煲塑件注射成型流动模拟体积温度

(7) 体积温度（充模结束时）(Bulk Temperature (End of Filling))

充模结束时的体积温度是单组数据结果，它很好地反映了充模时温度变化情况。如果温度分布范围窄，表明结果好，如图 11-9 所示。



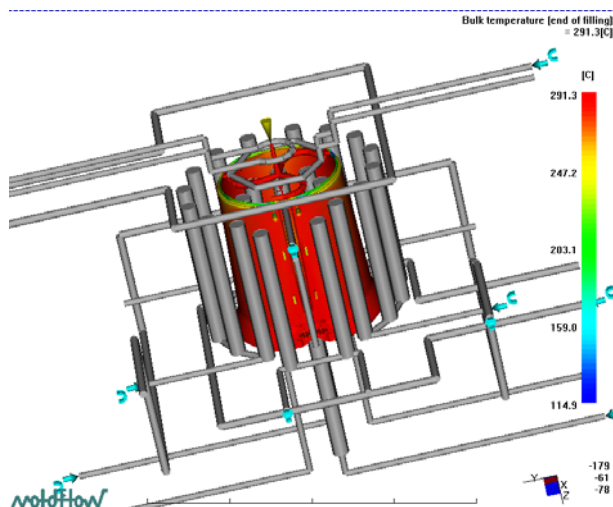


图 11-9 水煲塑件注射成型流动模拟体积温度（充模结束时）

（8）流动前沿温度（Temperature at flow front）

流动前沿温度是聚合物熔体充填一个节点时的中间流温度。因为它代表的是截面中心的温度，因此其变化不大。流动前沿温度图可与熔接线图结合使用。熔接线形成时熔体的温度高，则熔接线的质量就好。而在一个截面内熔接线首先形成的地方是截面的中心，因此，如果流动前沿的温度高，熔接线强度通常都高，如图 11-10 所示。

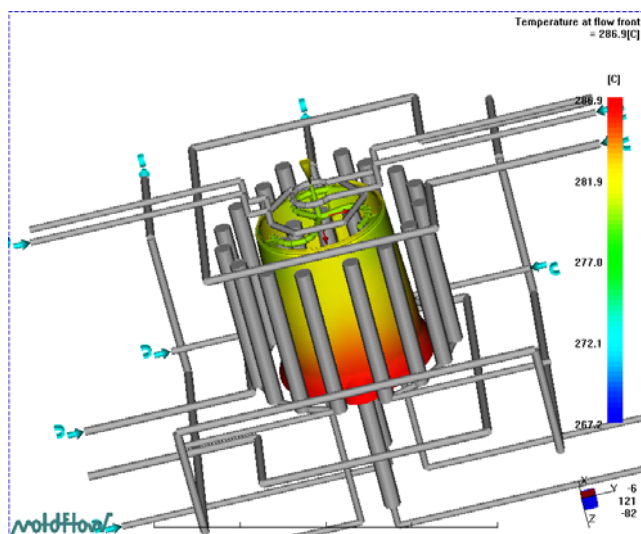


图 11-10 水煲塑件注射成型流动模拟流动前沿温度

（9）型腔壁处的剪切应力（Shear Stress at Wall）

型腔壁处的剪切应力是中间数据结果。型腔壁意味着冻结层和熔体层界面，在截面内这里的剪切应力最高。制件内的剪切应力应低于数据库中规定的材料极限值。因为型腔壁处的剪切应力是中间数据结果，不知道什么时候剪切应力将超过极限值。为了帮助解释结果，应改变绘图属性：调整绘图比例，并把最小值设为材料极限。在这种情况下，绘出的将仅仅是那些高于极限值的单元。把制件设为透明，默认的透明值是 0.1，根据计算机图形卡的不同，



可能需要把该透明值增大。同时，为了有助于显示出有问题的小单元，应关掉节点平均值。这样就可以手工播放剪切应力随时间变化的动画，从而发现什么时间、哪里出现了高的剪切应力，如图 11-11 所示。

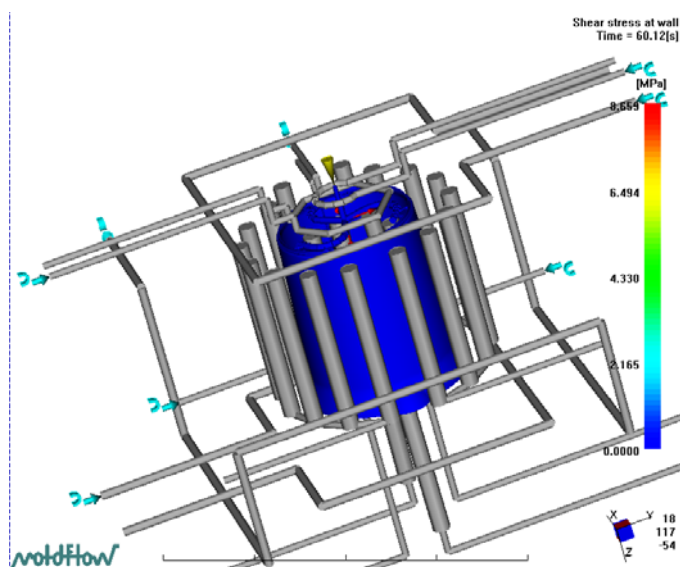


图 11-11 水煲塑件注射成型流动模拟型腔壁处的剪切应力

(10) 熔接痕 (Weld Lines)

当两股聚合物熔体的流动前沿汇集到一起，或一股流动前沿分开后又合到一起时，就会产生熔接线，如聚合物熔体沿一个孔流动。有时，当有明显的流速差时，也会形成熔接线。厚壁处的材料流得快，薄壁处流得慢，在厚薄交界处就可能形成熔接线。熔接线对网格密度非常敏感。由于网格划分的原因，有时熔接线可能显现在并不存在的地方，或有时在真正有熔接线的地方没有显示。为确定熔接线是否存在，可与充模时间一起显示。同时熔接线也可与温度图和压力图一起显示，以判断它们的相对质量。

减少浇口的数量可以消除一些熔接线，改变浇口位置或改变制件的壁厚可以改变熔接线的位置，如图 11-12 所示。

(11) 气穴 (Air Traps)

气穴定义在节点位置，当材料从各个方向流向同一个节点时就会形成气穴。气穴将显示在其真正出现的位置，但当气穴位于分型面时，气体可以排出。与熔接线一样，气穴对网格密度很敏感。制件上的气穴应该消除。可使用几种方法做到这一点，如改变制件的壁厚、浇口位置和注射时间都有助于消除气穴。气穴的分布和熔接痕是相似的，要结合流动前沿温度进行观察，才能辨别气穴位置的优劣，如图 11-13 所示。

(12) 冻结时间 (Time to Freeze)

冻结时间是指充模结束到型腔中的聚合物降至顶出温度所需的时间。冻结时间可用于估计制件的成型周期，并作为确定保压时间的初始值，同时可用于观察制件壁厚变化的影响。冻结时间分布要均匀，防止翘曲变形过大，最有效的几个办法是调整水路和对材料加入玻纤、缩短注射时间，如图 11-14 所示。



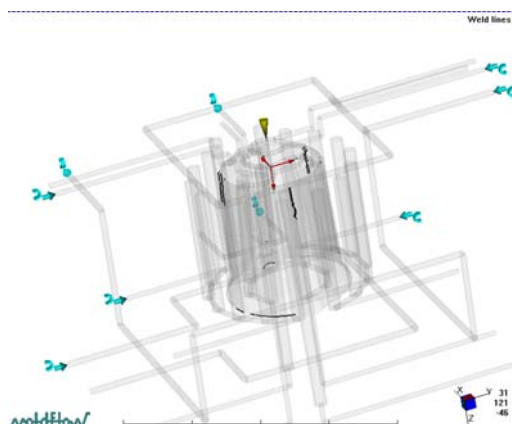


图 11-12 水煲塑件注射成型流动模拟熔接痕

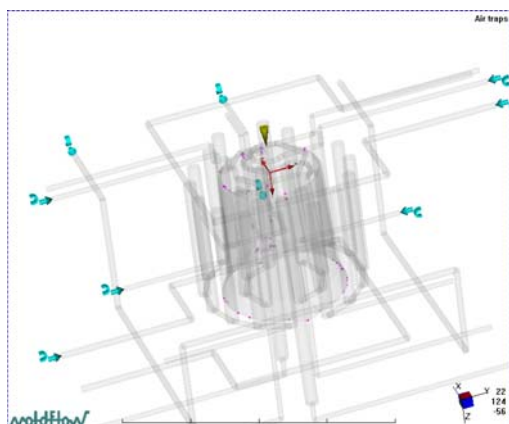


图 11-13 水煲塑件注射成型流动模拟气穴分布情况

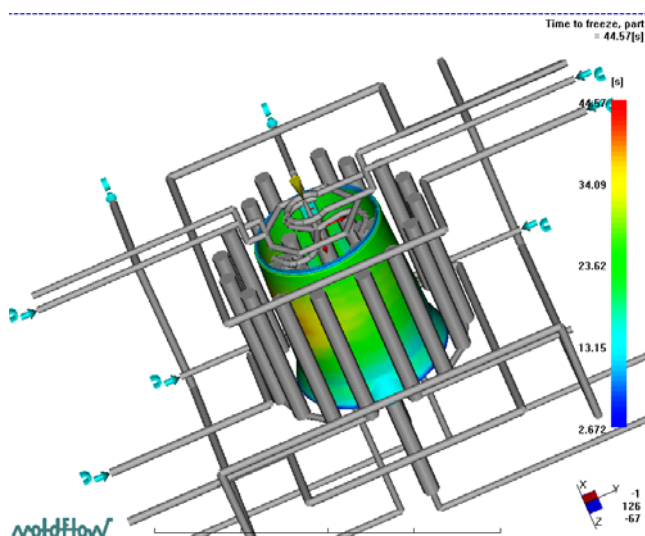


图 11-14 水煲塑件注射成型流动模拟冻结时间

(13) 冻结层厚度 (Frozen Layer Fraction)

冻结层厚度有两个概念，它定义了制件冻结层的厚度。如果冻结层厚度的值为 1，则表示截面已完全冻结。确定聚合物熔体是否冻结的参考温度是转变温度。

冻结层厚度是中间数据结果。要观察制件和浇口冻结的时间，该结果非常有用。如果制件上靠近浇口的一些区域冻结得早，就会使远离浇口的区域具有高的收缩率。通常，在关键位置（如浇口）创建 XY 图来观察冻结层厚度变化的情况。冻结层厚度是观测能否完全充填的重要数据，厚度值太大，可以考虑增加壁厚，在适当的情况下提高模温，提高胶体的温度，如图 11-15 所示。

(14) 冻结层厚度 (充模结束时) (Frozen Layer Fraction (end of Filling))

充模结束时的冻结层厚度是单组数据结果，此时，冻结层厚度不能太厚。如果制件某些区域的冻结层厚度超过 0.20~0.25，可能就意味着保压困难，并需要缩短注射时间来加以改善，这还需要与温度图结合起来进行判断。在调整相关参数以后的冻结层厚度 (充模结束时) 放大图中，红色是不正常的，可以采用提高模温、提高熔胶的温度、缩短注射时间，防止短射的发生，如图 11-16 所示。



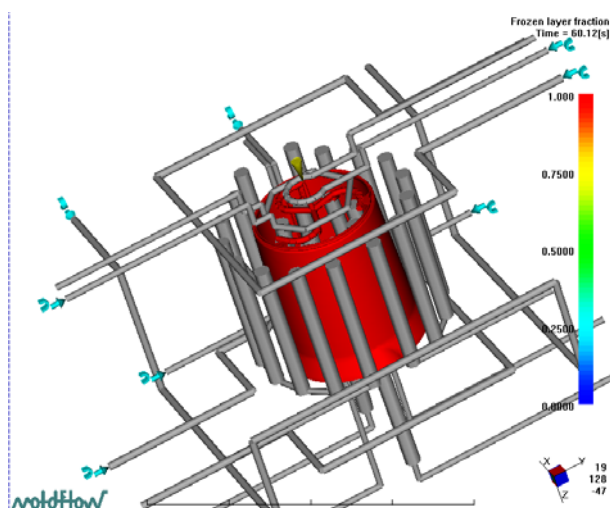


图 11-15 水煲塑件注射成型流动模拟冻结层厚度

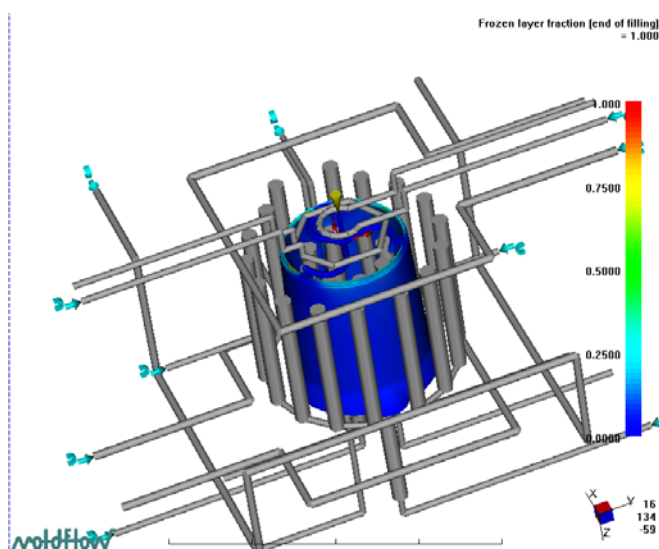


图 11-16 水煲塑件注射成型流动模拟冻结层厚度（充模结束时）

（15）体积收缩率（顶出时）（Volumetric Shrinkage（at Ejection））

顶出时的体积收缩率是单组数据结果。整个型腔的收缩率应该均匀，但通常难以实现，可调整保压曲线使收缩率均匀一些，达到收缩平衡才是我们的期望，如图 11-17 所示。

（16）平均速度（Average Velocity）

平均速度表示的是每个单元在不同时刻熔体流动的方向与大小。平均速度图非常适合于观察料流方向的变化和制件内哪个地方的料流速度较高。

在多数情况下，应设置绘图比例。通常，浇口或靠近浇口的单元的流速最大。调整绘图比例的一个简单方法如下，播放动画结果时，在绘图属性对话框中选择绘图比例，改变最大值并单击“应用（Apply）”按钮，观察速度的显示是否更合理。因为选择的是“应用（Apply）”，对话框将仍然保持打开，如有必要可继续调整最大值，直到得到满意的颜色为止。可用等高线对其进行直观描述，如图 11-18 所示。

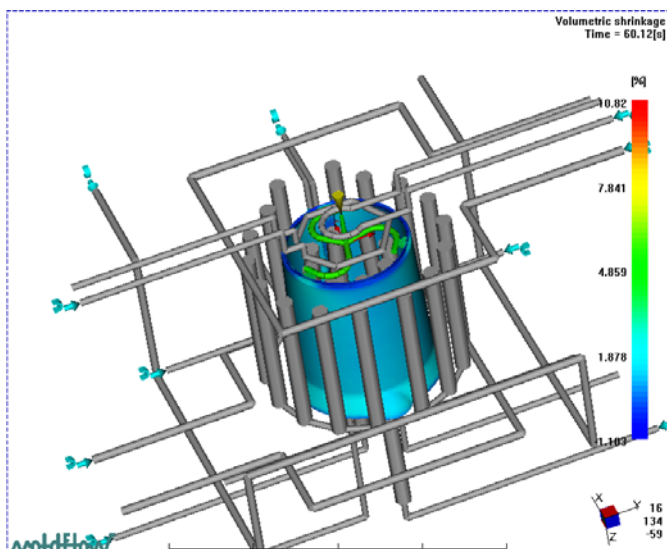


图 11-17 水煲塑件注射成型流动模拟体积收缩率（顶出时）

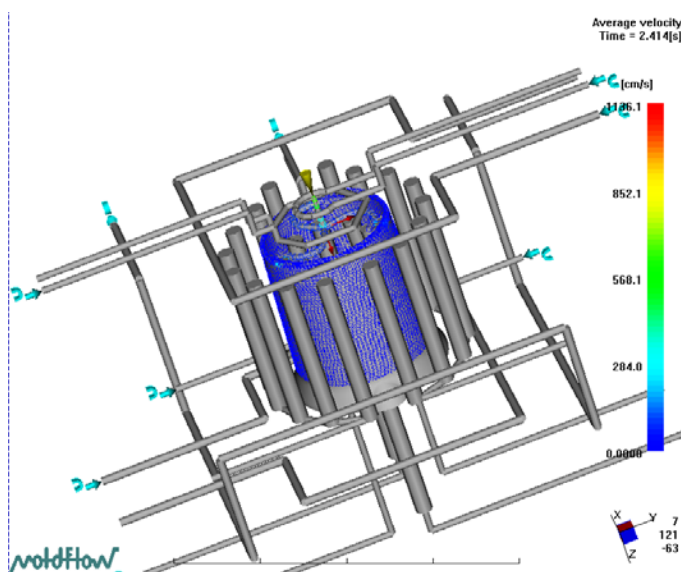


图 11-18 水煲塑件注射成型流动模拟平均速度

(17) 体积剪切速率 (Shear Rate, Bulk)

体积剪切速率代表的是整个截面的剪切速率，由截面内材料的流速和剪切应力计算所得，可以把它直接与材料数据库中的材料极限值进行比较。

在显示该结果图时，最好关掉节点平均值。通常，可能有一些小单元具有很高的剪切速率，因此，关掉节点平均值可以看得更清楚。

制件内的剪切速率很少过高。通常，剪切速率过高的地方都是浇注系统，特别是浇口。有些材料含有多种添加剂，从纤维、着色剂到稳定剂，这时应尽量把剪切速率控制在材料的极限值以内。当剪切速率保持在 $20000 \sim 30000 \text{ 1/s}$ 以内时，效果就很好。通常实际使用的浇口尺寸都可以保证这一点，如图 11-19 所示。



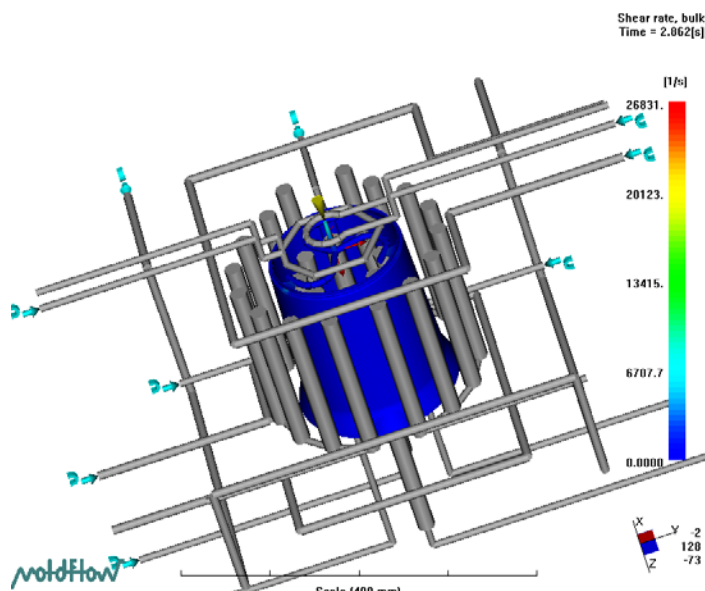


图 11-19 水煲塑件注射成型流动模拟体积剪切速率

(18) 推荐的注射速度: XY 图 (Recommended Ram Speed: XY Plot)

推荐的注射速度是以使流动前沿的速度更加均匀为原则而建立的, 它将有助于消除压力尖峰, 同时可以改善制件的表面光洁度。推荐的注射速度的图形显示可用做注塑机参数调整的后续研究。推荐的注射速度, 依照图 11-20 可以充分利用注射机设备带来直接的经济效益。

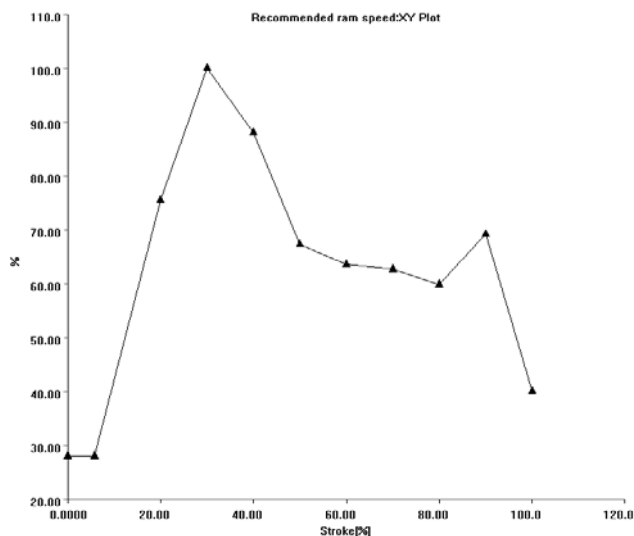


图 11-20 水煲塑件注射成型流动模拟推荐的注射速度

(19) 充模起点 (Grow from)

当制件上有多个浇口时, 该图将显示哪个三角形单元是由哪个浇口充填的。这将有助于浇口的设置和多浇口制件的平衡充模。充模起点是各进胶点的充填区域, 结合处又是气穴和熔接线的高发区, 如图 11-21 所示。



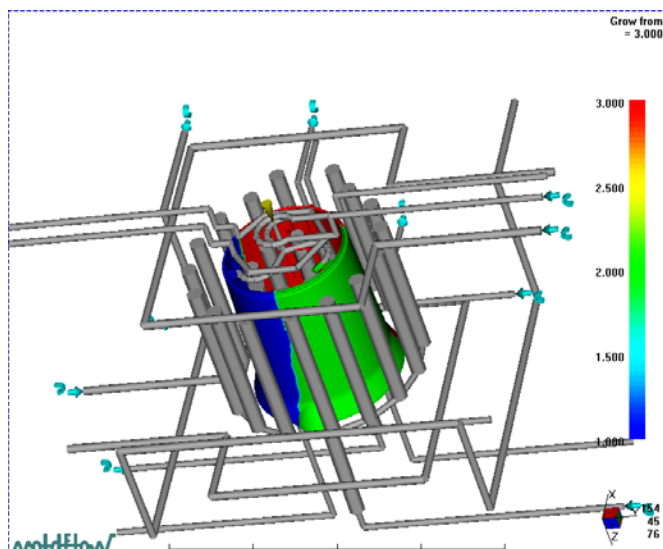


图 11-21 水煲塑件注射成型流动模拟充模起点

(20) 锁模力: XY 图 (Clamp force: XY Plot)

该 XY 图表示锁模力随时间而变化的情况。计算锁模力时把 XY 平面作为分型面，锁模力要根据每个单元在 XY 平面上的投影面积和单元内的压力进行计算。当使用表面模型时，考虑的是相互匹配的单元组，因此锁模力没有重复计算。但是，如果制品的几何结构在 XY 平面上的投影有重叠，锁模力的预测将会偏大。可以设置属性，将投影发生重叠的单元排除在锁模力的计算之外，从而解决该问题。锁模力对充模是否平衡、保压压力和体积/压力控制转换时间等非常敏感。对这些参数稍加调整，就会使锁模力发生较大的变化。锁模力其实是一个残余预紧力的问题，符合螺栓强度计算的原理，如图 11-22 所示。

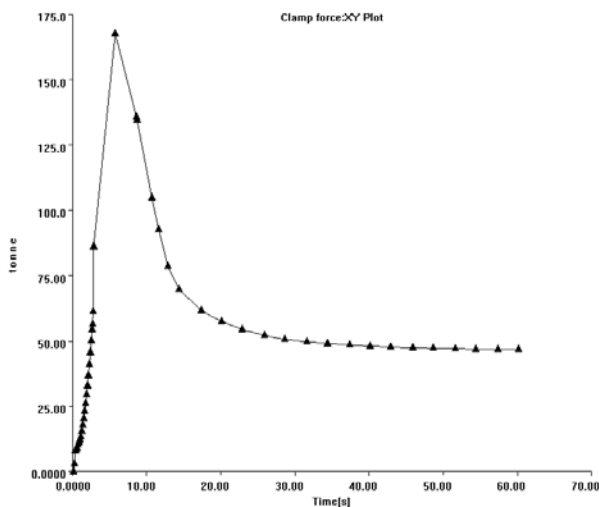


图 11-22 水煲塑件注射成型流动模拟注射机锁模力分布图

(21) 锁模力中心 (Clamp force Centerior)

当锁模力达到其最大值时，锁模力中心将指出锁模力中心的位置。如果成型制品所用的



模具很小或锁模力接近极限锁模力时，该结果非常有用。假如锁模力中心没有在模具中心，就可能使注塑机的锁模力能力得不到充分的利用。例如，如果注塑机的最大锁模力为 1000t，注塑机的 4 根拉杆每根将承受 250t 的力。当锁模力中心严重偏向其中的 1 根或 2 根时，机器实际能得到的锁模力将降低。该结果可用来检查模具的总体受力平衡，当锁模力中心不在机器的中心时，应加以修正，如图 11-23 所示。

(22) 缩痕指数 (Sink Index)

缩痕指数给出了制件上产生缩痕的相对可能性，其值越高，表明缩痕或缩孔出现的可能性越大。计算缩痕指数时将同时使用体积收缩率和制件壁厚的值。在比较不同的方案时，缩痕指数图是非常有用的相对工具，如图 11-24 所示。

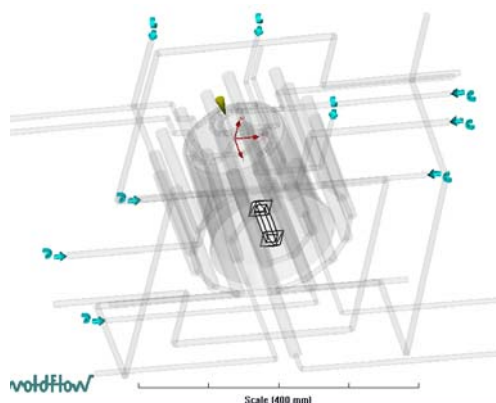


图 11-23 水煲塑件注射成型流动模拟锁模力中心

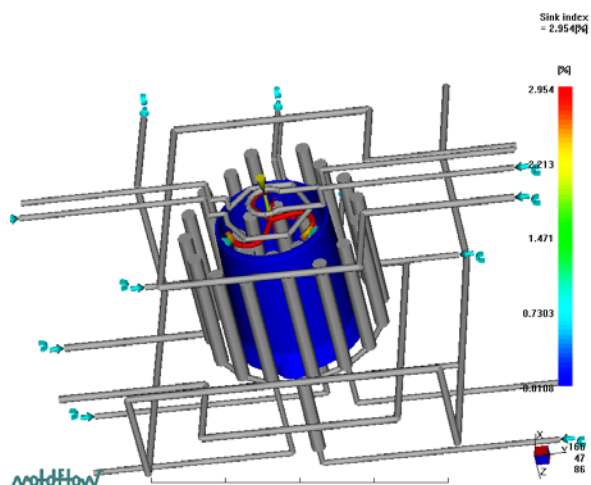


图 11-24 水煲塑件注射成型流动模拟缩痕指数

(23) 注射量百分比: XY 图 (% Shot weight: XY Plot)

注射量百分比是根据制件体积，并使用材料在室温时的密度计算的。该图用来显示制件体积随注射、保压时间而变化的情况，如图 11-25 所示。

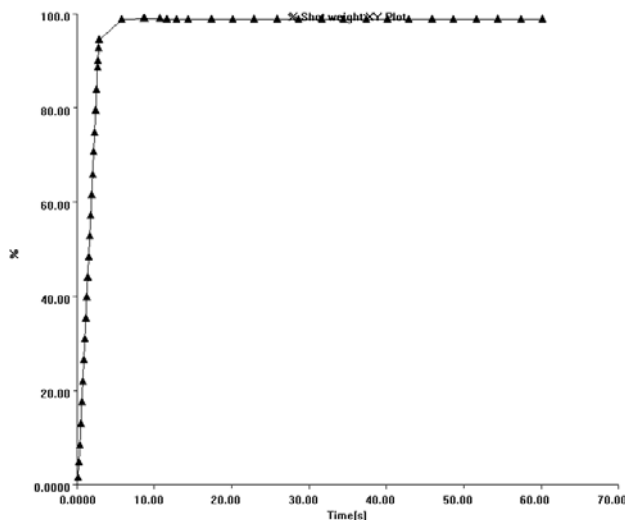


图 11-25 水煲塑件注射成型流动模拟注射量百分比



(24) 制件顶面温度 (Temperature (Top), part)

这里所指的顶面 (Top) 是三角形单元的顶面, 在显示时为蓝色。这个结果描述了和制件单元相接触的、顶面一侧的制件和模具的界面, 也叫模具表面, 在一个成型周期内的平均温度。这个温度和成型周期末段的模具温度很接近, 但从技术的角度看, 它是一个平均温度, 如图 11-26 所示。

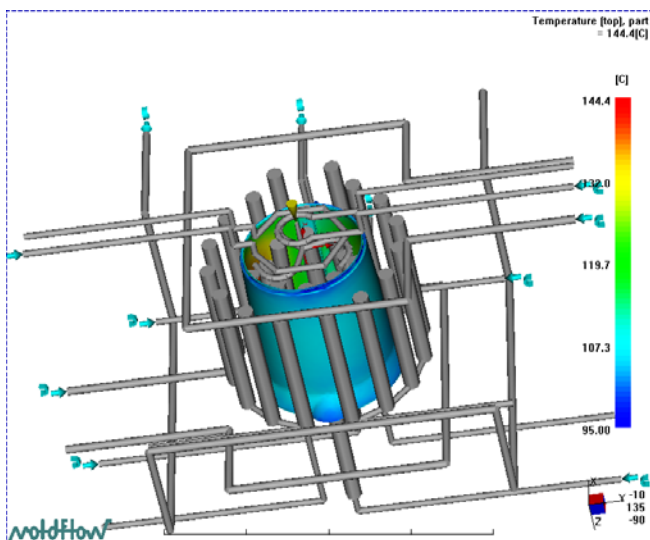


图 11-26 水煲塑件注射成型流动模拟制件顶面温度

(25) 制件底面温度 (Temperature (Bottom), part)

这里所指的底面 (Bottom) 是三角形单元的底面, 在显示时为红色。同前面一个结果一样, 它所描述的也是模具表面在一个成型周期内的平均温度, 只是接触的方向是单元的底面。

(26) 冻结时间 (Time to Freeze)

这个结果显示了从注射开始每个单元所需要的冻结时间, 即冷却到整个单元的截面温度都低于材料数据库中所定义的顶出温度的时间, 如图 11-27 所示。

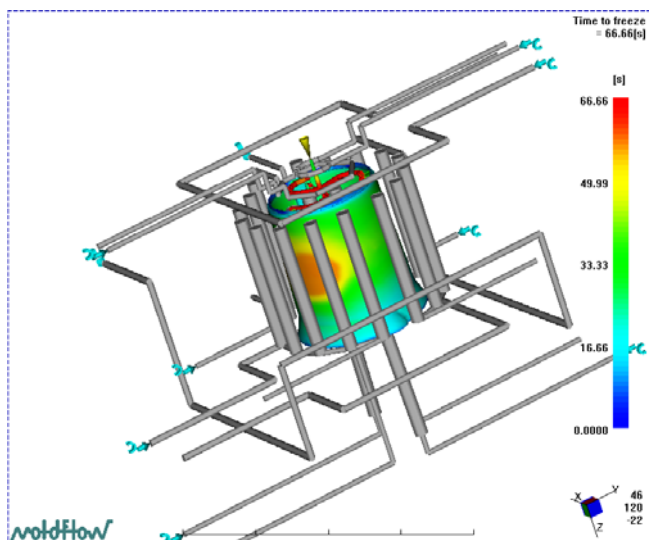


图 11-27 水煲塑件注射成型流动模拟冻结时间



(27) 最高温度 (Maximum Temperature)

冷却结束时制件截面上的最高温度，根据模具表面的平均温度计算，如图 11-28 所示。

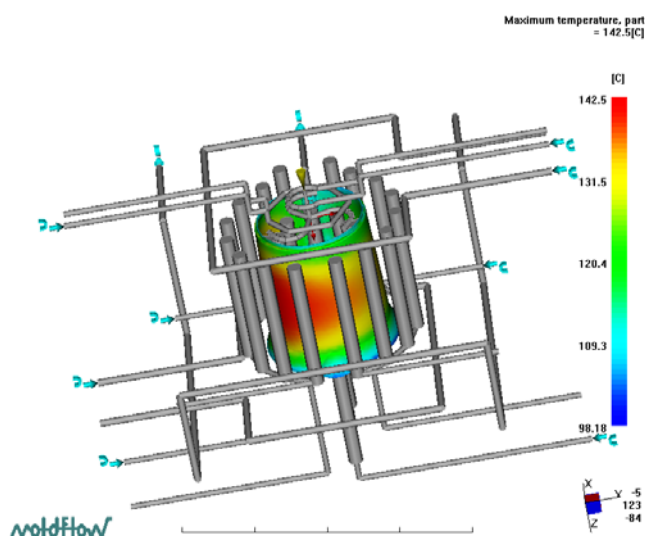


图 11-28 水煲塑件注射成型流动模拟最高温度显示图

(28) 冷却液流动速率 (Circuit Flow Rate)

在一个回路中冷却液流经某一单元时的流动速率。当使用并联回路时，这是一个很有用的结果，因为在一般情况下，并联回路中管道的流动速率不均匀，如图 11-29 所示。

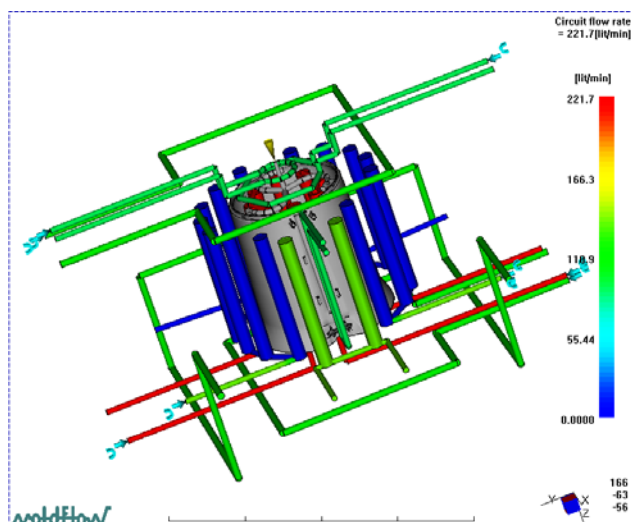


图 11-29 水煲塑件注射成型流动模拟冷却液流动速率

冷却液流动速率，在实际的生产中，这个参数是很容易实现紊流的。

(29) 冷却液雷诺数 (Circuit Reynolds Number)

这是回路中某一单元中冷却液的雷诺数。雷诺数是用来表征流体流动状态的一个纯数。流动状态为湍流时传热效率高。当雷诺数大于 2200 时，流体开始处于过渡流状态，大于 4000 时处于湍流状态。冷却分析时的默认值是 10000。与流动速率一样，当各条管道流动速率不



一致或采用并联管道时，这个结果很有用，如图 11-30 所示。

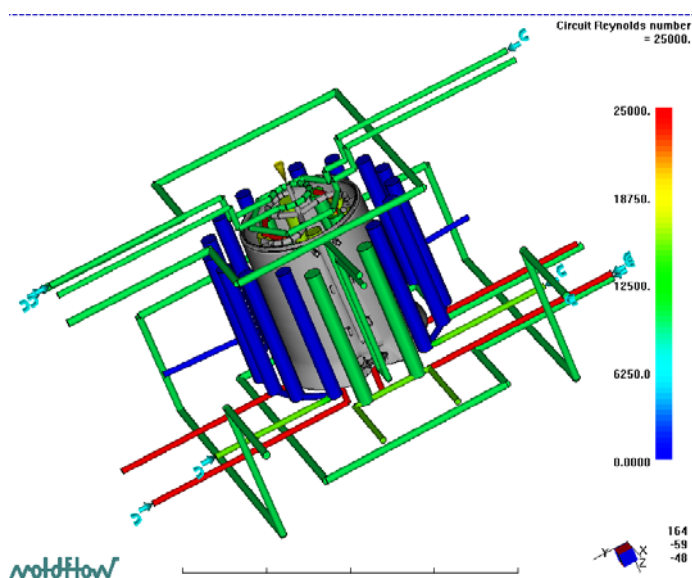


图 11-30 水煲塑件注射成型流动模拟冷却液雷诺数

(30) 冷却液温度 (Circuit Coolant Temperature)

冷却液温度：显示了冷却液流经冷却管道时的温度变化。一般情况下，冷却液温度的升高不要超过 3°C ，如图 11-31 所示。

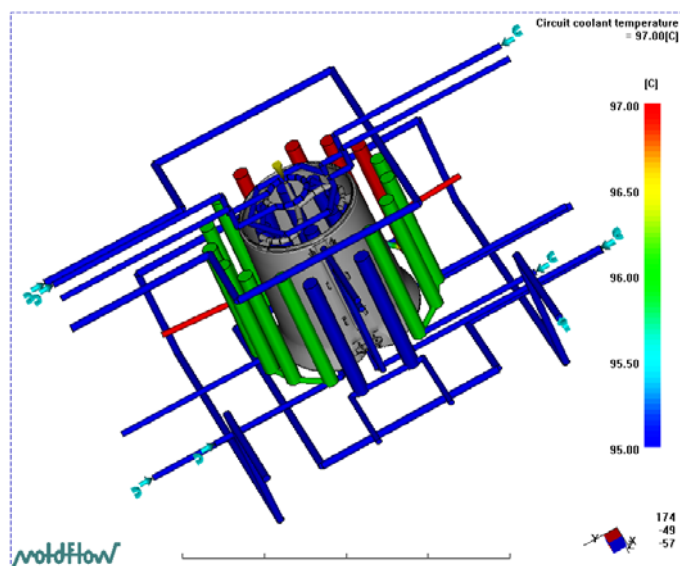


图 11-31 水煲塑件注射成型流动模拟冷却液温度

(31) 管道表面金属温度 (Circuit Metal Temperature)

管道表面金属温度显示了冷却管道表面。即冷却液和金属界面的温度。这个温度应该不能比冷却液温度高 5°C 以上。通过这个结果我们可以看到回路中热量传递最高的部位。如果这个温度太高，则表明该部位需要加强冷却，如图 11-32 所示。



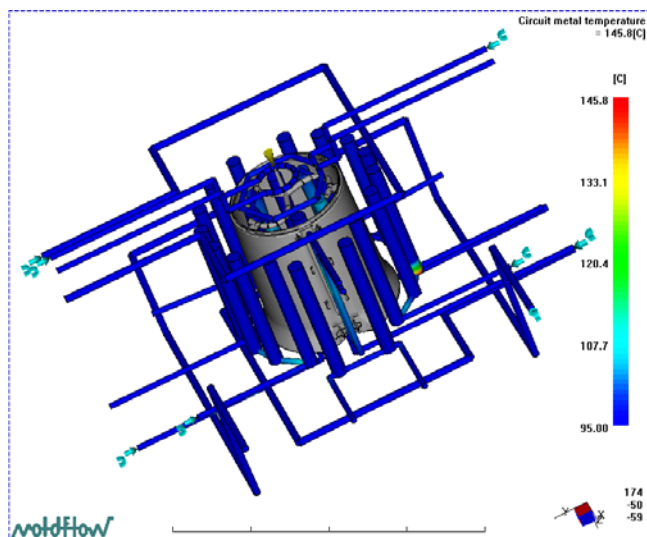


图 11-32 水煲塑件注射成型流动模拟管道表面金属温度

11.2 分析报告的生成

完成分析任务之后，利用 Moldflow 给出的模板，可以学习如何通过各种格式快速创建报告，生成 HTML 文档等。

执行“报告”→“报告建立向导”命令，弹出如图 11-33 所示的报告生成向导。在“可用的方案”中选择需要加入报告的项目分析方案，单击“添加”按钮即可，如果要删除不需要的项目分析方案，在“已选择的方案”中将其“移除”即可。

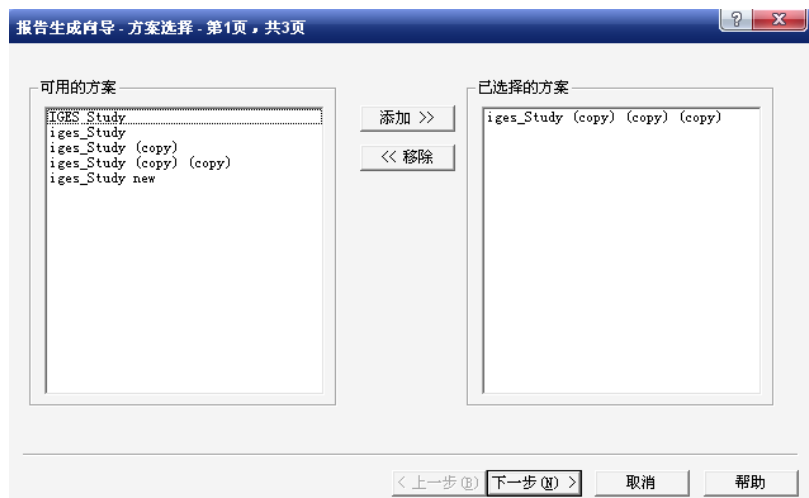


图 11-33 报告生成向导

单击“下一步”按钮，进入报告生成向导的第 2 页，如图 11-34 所示。在“可用的结果”一栏中，单击“添加”按钮选择需要生成报告的分析结果。如果需要全部选中，单击第一条，然后按住【shift】键，再单击最后一条。添加完成后，单击“下一步”按钮进入第 3 页界面。



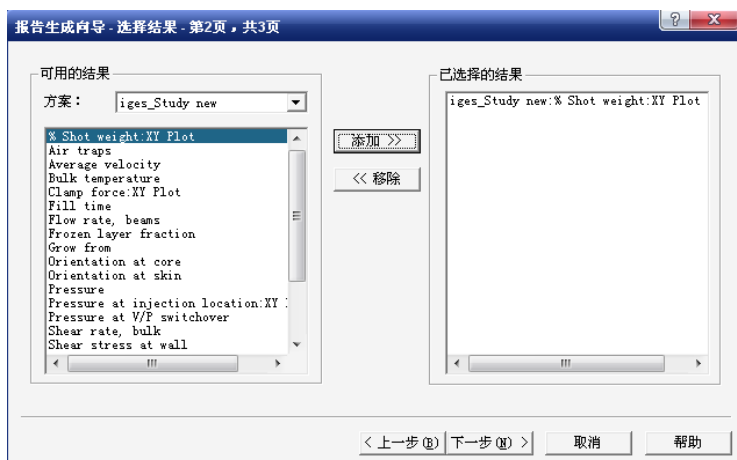


图 11-34 报告生成向导的第 2 页

进入报告生成向导的第 3 页，如图 11-35 所示。在“输出模板”一栏中，提供了 3 种输出模板，有：contemporary_template、default_template 和 notebook_template。一般选择 default_template 模板。选中“封面”复选框，单击“属性”按钮，进入“封面属性”对话框，如图 11-36 所示。



图 11-35 报告生成向导的第 3 页

在“详细设定”一栏中，有“重新生成图片”、“截取屏幕”、“动画”和“描述文字”4 个选项，选中所有复选框后，单击“截取屏幕”后面的“属性”按钮，弹出如图 11-37 (a) 所示窗口。针对选中的目标文件可以更改图像格式：GIF Image、JPEG Image 和 Bitmap Image。图像尺寸在高度、宽度上可以进行修改，在旋转角度上也可以进行修改。单击“动画”后面的“属性”按钮，弹出如图 11-37 (b) 所示窗口。针对选中的目标文件可以更改动画格式：Animated GIF 和 AVI Movie。动画尺寸在高度、宽度上可以进行修改，在旋转

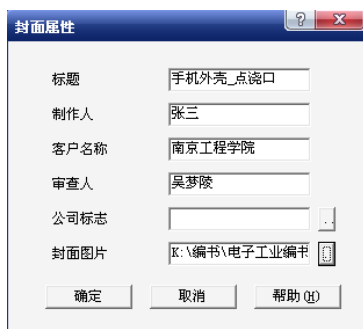
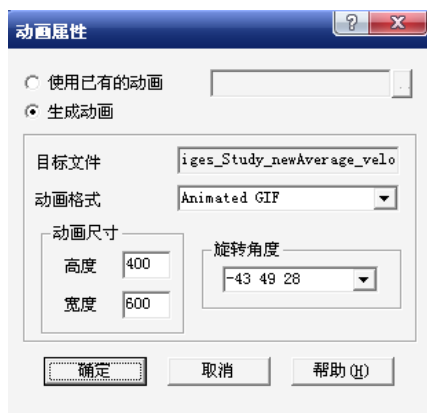


图 11-36 “封面属性”对话框

角度上也可以进行修改。



(a)



(b)

图 11-37 详细设定中屏幕截取属性和动画属性

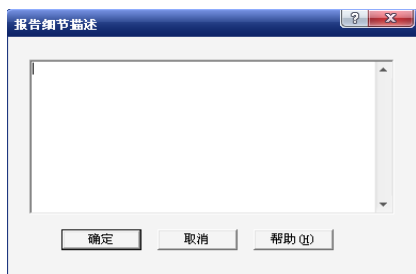


图 11-38 报告细节描述

在“详细设定”一栏中，在“描述文字”右边单击“编辑”按钮，弹出如图 11-38 所示的对话框。在对话框中可以输入相应的报告细节描述。

返回到如图 11-35 所示的报告生成的第 3 页界面。单击“生成”按钮，生成如图 11-39 所示的报告封面。

在该界面的左上角，单击“Bottom of page”，进入 HTML 格式的分析报告的最后一页，如图 11-40 所示。

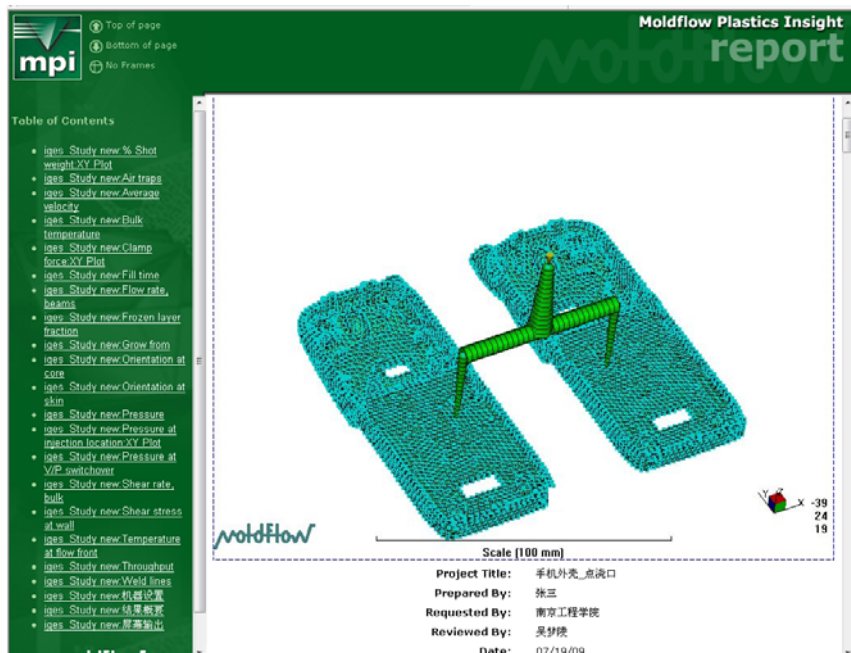


图 11-39 HTML 格式的分析报告封面



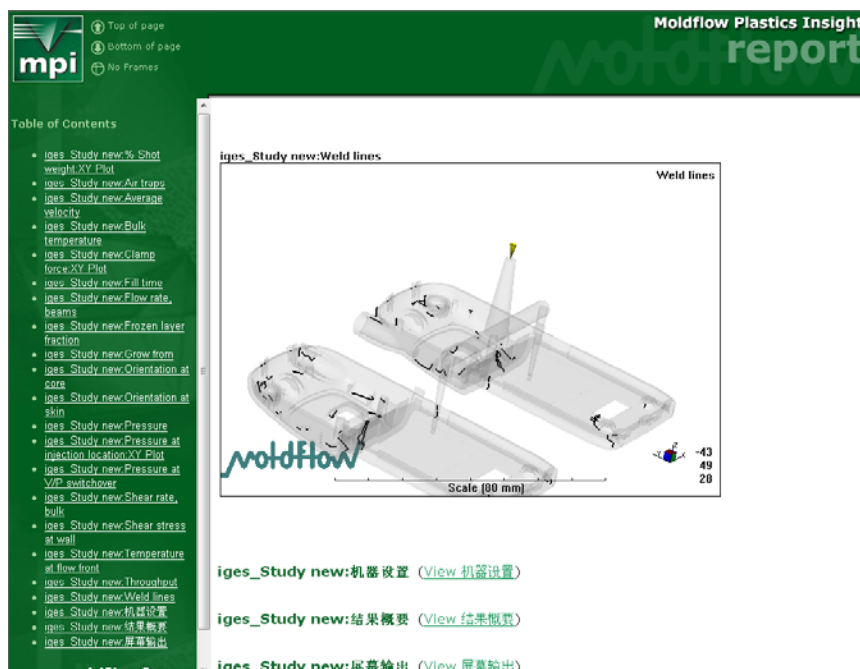


图 11-40 HTML 格式的分析报告的最后一页

11.3 动画和图片的保存

分析结果还可以单独以图片和动画的形式保存起来。打开“编辑”菜单，出现如图 11-41 所示可选项。其中“拷贝图像到剪贴板”、“保存图像到文件”和“保存动画到文件”可将文件和动画保存起来。

以充填时间（Fill time）为例，在方案任务视窗“分析检查”一栏中选择“Fill time”，如图 11-42 所示。执行“编辑”→“保存图像到文件”菜单命令，出现如图 11-43 所示对话框，保存类型有*.bmp、*.gif 和*.jpg 文档。



图 11-41 “编辑”下拉菜单

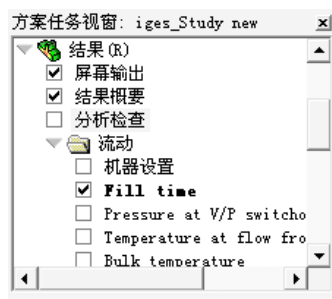


图 11-42 选择“Fill time”



执行“编辑”→“保存动画到文件”菜单命令，出现如图 11-44 所示对话框，保存类型有*.gif 和*.avi 动画文档。

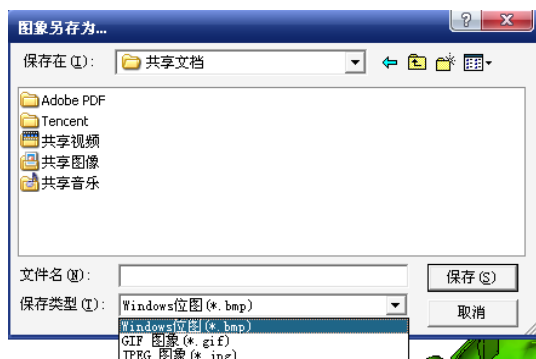


图 11-43 选择保存类型

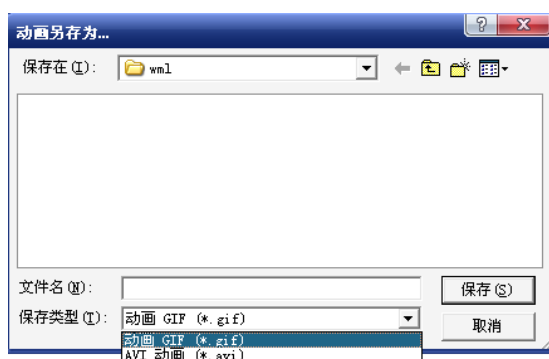


图 11-44 保存动画文件



12.1 正交实验概述

正交试验是解决理论上需要进行的试验次数与实际可行的试验次数的矛盾,以及实际所做的少数次试验与要求全面掌握事物内在规律之间的矛盾的科学试验方法,它冲破了传统试验观点的束缚,克服了单因素优选的局限性,应用数理统计观点和正交原理,使试验设计建立在科学的基础上。正交试验法(又称正交法)设计是一种广泛使用的安排试验的方法。其理论基础是拉丁方理论和群论,就是利用数理统计学与正交性原理,从大量的试验点中挑选适量的具有代表性、典型性的点,应用“正交表”合理安排试验的一种科学的试验设计方法。其可以用来安排多因素试验,试验次数对各因素的水平的全排列组合来说是大大减少了,是一种优良的试验设计方法。20世纪70年代和80年代,此方法在中国得到了广泛的推广。用正交设计表安排试验,相对于全面试验而言,它只是部分试验,可用比全面试验法少得多的试验,获得能基本上反映全面情况的试验资料。用正交表设计试验方案程序如下:①确定实验指标、明确试验目的,确定试验考核目标;②确定因子与水平—制定因素位级表;③选用正交表;④进行实验及结果分析。

在注塑成型过程中,不同的注塑过程参数会对注塑件的质量产生不同的影响。采用正交试验设计法可以通过简单计算各因素对试验结果的影响,并将其用图表形式表示出来,在通过极差综合比较,最后确定优化参数,计算在正交表上进行,整个过程简单明了,通过很少的试验来获取足够多的信息,从而节省成本。

通常把正交表记为 $L_n(m_1 \times m_2 \times \cdots \times m_k)$, 其中 L 是正交表的代号(Latin square 的首字母); n 表示有 n 行(即做 n 次试验); $m_1 \times m_2 \times \cdots \times m_k$ 表示共有数列,每列的水平数分别为 m_1, m_2, \cdots, m_k 。

若正交表 $L_n(m_1 \times m_2 \times \cdots \times m_k)$, $m_1 = m_2 = \cdots = m_k = m$, 则称之为水平数相同的正交表或 m 水平正交表,简记为 $L_n(m_k)$ 。此类正交表如果水平数相等,且水平数只能取素数或素数幂,可以考察因素间的交互作用,则称为标准型正交表,例如 $L_4(2^3)$ 、 $L_4(2^7)$ 正交表。如果水平数相等,但不能考察因素间的交互作用,则称为非标准型正交表,例如 $L_{12}(2^{11})$ 、 $L_{12}(2^{19})$ 正交表。若正交表 $L_n(m_1 \times m_2 \times \cdots \times m_k)$ 中, $m_1 \neq m_2 \neq \cdots \neq m_k \neq m$ 则称为水平数不相同的正交表或混合型正交表。

正交试验设计,是当指标、因子、水平都确定后,进行试验安排的一种数学方法。它主要解决下面三个问题:①分析因子与指标的关系。即当因子变化时,指标是怎样变化。找出这种变化规律,可以利用它能动地指导生产。②分析因子影响指标的主次。即分析哪些因子是影响指标的主要因素,哪些是次要因素。找出主要影响因素常常是生产中关键问题之一。③寻找好的生产工艺。即找到每个因子各取什么水平,会得到最好的指标。也就是选出最优方案,这是生产中需要解决的问题。

例如在正交试验中,将翘曲量作为质量指标,翘曲量越小,质量越好。主要考察注塑成



型工艺参数对翘曲量的影响，为此，可以选取六个可控制的工艺参数作为试验中的因子：模具温度、熔体温度、注射速度（或者流动充模时间）、保压压力、保压时间、冷却时间，各因子选取三个水平，选用正交表进行试验设计。表头设计中，考虑了两对因子之间的交互作用：模具温度和熔体温度之间的交互作用、熔体温度和注射速度（或者流动充模时间）之间的交互作用。

本章以水煲塑件为例，将利用正交试验得出注塑工艺参数对翘曲变形结果的影响。

（1）试验指标、因子和水平

把翘曲变形量作为试验指标。对试验指标产生影响的因素称为因子，通常用大写英文 A, B, C, …等表示。因子在试验中所处的状态、条件的变化可能引起试验指标的变化，我们将因子变化的各种状态称为因子的水平，如果一个因子在某项试验中取 K 个不同的状态，就称该因子有 K 个不同的水平，记为 A_1 、 A_2 、… A_k 。一次试验中每个因子都会取一个特定的水平，各因子水平的一个组合称为试验条件。此实验中的因子分别为注塑温度、模具温度、注塑时间、保压时间、保压压力。

（2）正交表

在多因子试验中不可能也没有必要对一切条件进行试验，而只能从中选择部分条件进行试验，再通过数据分析来寻找好的条件，即好的因子组合。因此，选择哪些试验条件进行试验就十分重要，一个好的试验设计，可以通过少量的试验获得较多的信息，达到试验的目的，用正交试验法合理安排试验，并对试验数据进行统计分析。正交表是一种已经制作好的标准化的表格，它是进行正交试验的基本工具。例如正交表 $L_9(3^4)$ 中，“L” 是正交表的代号，“9” 表示表的行数，在试验中表示用这张表安排试验的话，要做 9 个不同条件的试验；“4” 表示列数，在试验中表示用这张表安排试验的话，最多可以考察 4 个因子；“3” 表示因子的水平数量，即用这张表安排试验时每个因子取 3 个不同的水平。此实验采用的正交表为 $L_{16}(4^5)$ ，如表 12-1 所示。

表 12-1 $L_{16}(4^5)$ 的正交表

列 号 实 验 号	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	3
6	2	2	1	4	4
7	2	3	4	1	1
8	2	4	3	2	2
9	3	1	3	4	4
10	3	2	4	3	3
11	3	3	1	2	2
12	3	4	2	1	1
13	4	1	4	2	2
14	4	2	3	1	1
15	4	3	2	4	4
16	4	4	1	3	3



在工艺参数优化过程中，模具温度、熔体温度、注射速度（或者流动充模时间）、保压压力、保压时间、冷却时间等的设计变量的取值范围相当重要，因为这不仅关系所选范围是否包含最优解或者次优解，也影响到工艺参数优化过程的搜索效率。采用以下设计变量及变量的设计范围：

1) 注塑温度（熔体温度）— T_1

塑件采用的 PC 料，其牌号为 Lexan 164R 在 Moldflow 的材质库中提供了所选取材料的注塑温度范围： $T_1=269^{\circ}\text{C}\sim 324^{\circ}\text{C}$ ，推荐值是 295°C ，在这个推荐值区间，取 4 个值，选取 $T_1=270^{\circ}\text{C}$ ， 280°C ， 290°C ， 295°C 。

2) 模具温度— T_2

在 Moldflow 的材质库中提供了所选取材料的模具温度范围： $T_2=70^{\circ}\text{C}\sim 111^{\circ}\text{C}$ ，推荐值是 95°C ，在这个推荐值区间，取 4 个值，选取 $T_2=85^{\circ}\text{C}$ ， 90°C ， 95°C ， 100°C 。

3) 成型时间— t_1

根据实际情况和模拟分析，成型时间 $t_1=55\sim 70\text{s}$ 之间取 4 个值，则 $t_1=55\text{s}$ ， 60s ， 65s ， 70s ，其中开模时间固定在 5s 不变。

4) 保压时间— t_2

根据实际情况和模拟分析，保压时间 $t_2=8\sim 14\text{s}$ 之间取 4 个值，则 $t_2=8\text{s}$ ， 10s ， 12s ， 14s 。

5) 保压压力— P

根据实际情况和模拟分析，保压压力 P 采用百分比形式，即保压开始阶段的压力为 100% 的 V/P 转换点压力，从第二个压力下降点所占的百分比，取 4 个值， $P=90\%$ ， 93% ， 97% ， 100% 。

12.2 数值模拟与正交试验方法结合的多工艺参数优化

12.2.1 基于正交试验多工艺参数优化

利用流体分析软件 Moldflow 模拟成型及翘曲过程，对塑件注塑成型过程中的多因素进行了优化设计，以减小翘曲变形提高成型精度。利用正交表安排试验确定如下试验指标、设计变量，以及约束条件。

(1) 试验指标

定义工件的总翘曲变形量为考察指标。

(2) 设计变量

注射温度 T_1 ，模具温度 T_2 ，成型时间 t_1 ，保压时间 t_2 ，保压压力 P 。

(3) 约束条件

注塑成型过程中避免填充不满、注射压力小于 200MPa ，锁模力小于 500T ，开模时间锁定为 5s 。

(4) 确定影响翘曲指标的因子及水平

影响塑料件注塑成型后翘曲变形量大小的主要因素为：注射温度 T_1 ，模具温度 T_2 ，成型时间 t_1 ，保压时间 t_2 ，保压压力 P 。将它们简称为因子 A 、 B 、 C 、 D 、 E ，并假设各因子之间不存在交互作用。在各因子的取值范围内，每个因子均匀地取 4 个水平，如表 12-2 所示。



表 12-2 影响翘曲指标的因子及水平

因素水平	A（注射温度 $T_1/^{\circ}\text{C}$ ）	B（模具温度 $T_2/^{\circ}\text{C}$ ）	C（注塑时间 t_1/s ）	D（保压时间 t_2/s ）	E（保压压力 $P/\%$ ）
1	270	85	55	8	90
2	280	90	60	10	93
3	290	95	65	12	97
4	295	100	70	14	100

根据因素及水平划分，采用五因素四水平的正交实验矩阵设计实验，采用正交表 $L_{16}(4^5)$ ，并且按照表 12-3 设置的参数作模拟试验，同时取得考核指标最大翘曲表形量 Z ，得到相应的正交表。

表 12-3 $L_{16}(4^5)$ 实验表及翘曲表形量 Z 数值

因素水平	A（注射温度 $T_1/^{\circ}\text{C}$ ）	B（模具温度 $T_2/^{\circ}\text{C}$ ）	C（注塑时间 t_1/s ）	D（保压时间 t_2/s ）	E（保压压力 $P/\%$ ）	Z（mm）
1	270	85	55	8	90	0.8421
2	270	90	60	10	93	0.7322
3	270	95	65	12	97	0.6166
4	270	100	70	14	100	0.5358
5	280	85	60	12	100	0.6420
6	280	90	55	14	97	0.6890
7	280	95	70	8	90	0.7366
8	280	100	65	10	93	0.7673
9	290	85	65	14	100	0.7400
10	290	90	70	12	97	0.7868
11	290	95	55	10	93	0.8711
12	290	100	60	8	90	0.9500
13	295	85	70	10	93	0.9170
14	295	90	65	8	90	1.0010
15	295	95	60	14	100	0.8030
16	295	100	55	12	97	0.8504

在表 12-3 中考查了五因素四水平对塑料件注塑翘曲变形量的影响，其所有不同的试验条件共有 4^5 个，根据正交试验设计，现在安排 16 次试验，试验的目的是为了找到哪个工艺参数对翘曲量的影响最大，以及各个工艺参数对翘曲量影响程度的顺序，最后得出最佳参数组合。把各参数不同水平下试验结果均值的最大值和最小值之差称为“极差”，若该值大，改变因子的水平会引起指标发生较大的变化，即该因子对指标的影响大，反之，影响就小。把各影响参数在不同水平下模拟试验的翘曲量均值（即表 12-3 中的 A ， B ， C ， D ， E ）用因子水平与极差的关系图来表示，如图 12-1 所示，从中可以明显地看出各参数对指标（翘曲量）的影响大小。即 $R_A > R_D > R_C > R_B > R_E$ （注： A —注射温度， B —模具温度， C —注射时间， D —保压时间， E —保压压力）。

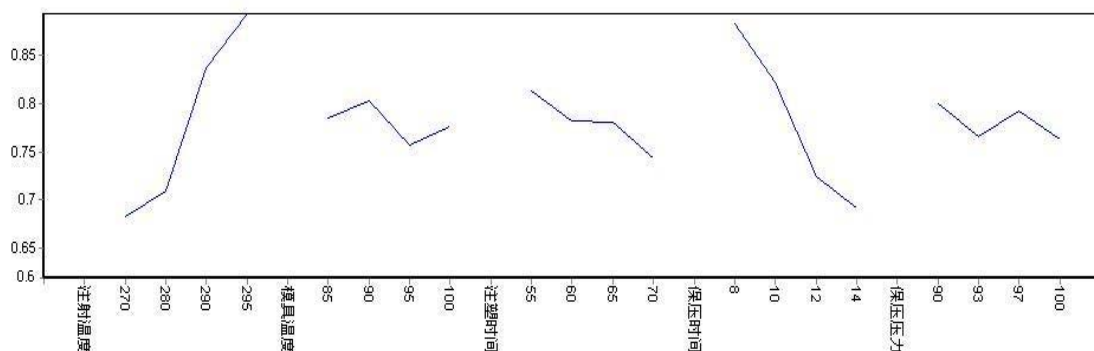


图 12-1 各参数对指标（翘曲量）的影响大小

工艺参数对翘曲变形量的影响数据分析可就因子水平的极差进行分析，见表 12-4。

表 12-4 因子水平的极差分析

	A	B	C	D	E	R 为因子在 4 个水平下最大值与最小值之差，即因子水平的极差。
均值 1	0.6820	0.7850	0.8130	0.8820	0.8000	
均值 2	0.7090	0.8020	0.7820	0.8220	0.7650	
均值 3	0.8370	0.7570	0.7810	0.7240	0.7930	
均值 4	0.8930	0.7760	0.7440	0.6920	0.7620	
R	0.2110	0.0450	0.0690	0.1900	0.0380	
排序	1	4	3	2	5	

方差分析偏差平方和、自由度等影响图，如图 12-2 所示。

因素	偏差平方和	自由度	F比	显著性
注射温度	0.123	3	2.628	有影响
模具温度	0.004	3	0.085	
注塑时间	0.010	3	0.214	
保压时间	0.093	3	1.987	有影响
保压压力	0.004	3	0.085	
误差	0.23	15		

图 12-2 方差分析表

通过方差分析，表明：

(1) 影响翘曲的最重要的因子是保压时间和注射温度，注塑时间、模具温度和保压压力影响性不大。

(2) 最优方案是 $A_1B_3C_4D_4E_4$ ，即选用注射温度 270℃、模具温度 95℃、注塑时间 70s、保压时间 14s、保压压力保压开始阶段的压力为 100%的 V/P 转换点压力。

如图 12-3 所示是在最优工艺参数条件下分析得到的翘曲变形量，图 (a) 是总翘曲变形量；图 (b)、图 (c)、图 (d) 分别是由不均匀冷却、不均匀收缩、取向原因引起的翘曲变形量。最优工艺参数下得到的总翘曲变形量为 0.5520mm，与做过的试验结果来比较，确实获得了最小的翘曲变形量，通过比较可以看出翘曲变形主要是由收缩不均匀和不均匀冷却联合



作用的结果。而由于取向原因引起的翘曲变形量不存在。

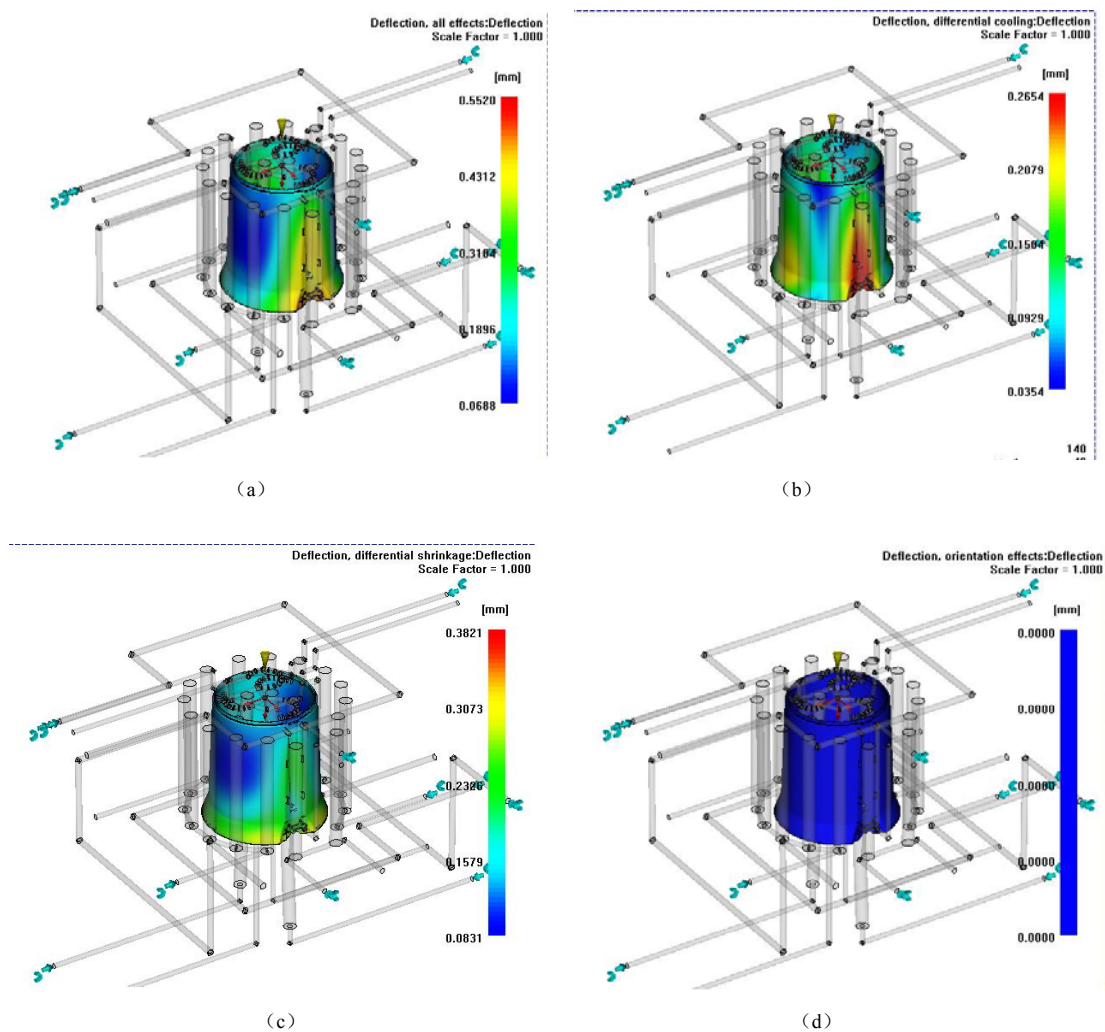


图 12-3 翘曲变形分析结果

12.2.2 单个因素影响的试验

进行单参数变动实验，表 12-5 为单个因素影响的试验工艺基准表。

表 12-5 注塑成型工艺基准表

参数	A (注射温度 $T_1/^{\circ}\text{C}$)	B (模具温度 $T_2/^{\circ}\text{C}$)	C (注塑时间 t_1/s)	D (保压时间 t_2/s)	E (保压压力 $P/\%$)
数值	270	95	70	14	100

(1) 注射温度的影响

单独改变注射温度的数值，其他参数不变进行数值模拟分析，得到各自翘曲量数值，见表 12-6。



表 12-6 单独改变注射温度得到的翘曲量

注射温度 (°C)	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320
总翘曲量 (mm)	1.1900	1.1970	0.6833	0.7146	0.5520	0.6357	0.7337	0.8594	0.8743	1.0930
X 向 (mm)	1.1080	1.1160	0.6751	0.6759	0.5277	0.5727	0.6493	0.7449	0.7562	0.9162
Y 向 (mm)	0.4430	0.5036	0.1819	0.1833	0.1251	0.1469	0.1825	0.2266	0.2292	0.3201
Z 向 (mm)	0.6408	0.6357	0.3005	0.3334	0.2278	0.2984	0.3750	0.4608	0.4892	0.6145

通过图 12-4 的变化趋势可以看出, 熔体温度在 270°C 左右时, 翘曲量最小。过低或过高的熔体温度时翘曲量比较大。

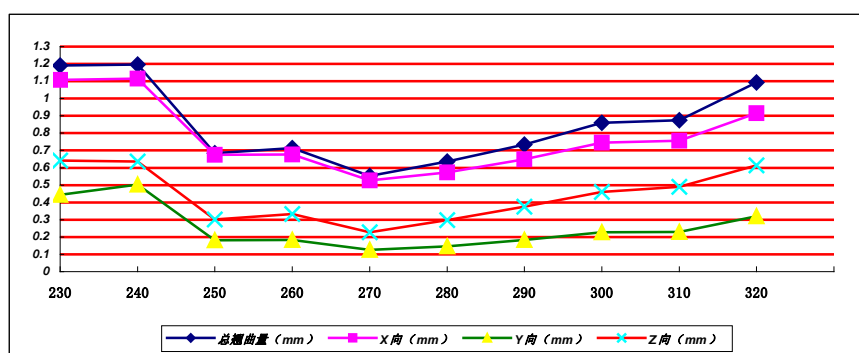


图 12-4 熔体温度变化时翘曲量的变化趋势

对非结晶型或结晶倾向小的塑料, 料温 (熔料温度) 主要是影响熔体的黏度、流动性及分子取向程度, 对成型收缩率的影响不大。提高熔料温度, 熔体体积膨胀而使进入型腔的物料数量减少, 熔体的保压效率降低, 因而导致取向方向上聚合物呈松弛状态, 提高了大分子的取向能力, 这样造成收缩率升高。同时, 熔料温度升高, 使熔体黏度减小, 若维持注射压力和保压压力不变, 则导致熔体剪切速率提高, 更有利于向型腔内传递压力, 这种现象造成收缩率减小。一般而言, 黏度对温度敏感的塑料, 后一种效应影响大, 反之, 前一种效应影响更大。PC 的黏度对温度不太敏感, 所以, 熔体温度升高, 总体来说, 会使收缩率增大。另外, 熔体温度增加, 使熔体黏度减小, 剪切速率提高, 更有利于向型腔内传递压力, 减小收缩和变形; 宽浇口尺寸较大, 也有助于压力的传递, 提高模腔压力, 增大补料量, 降低平板的收缩, 减小了翘曲变形。因此, 熔体温度对翘曲变形的影响是这些因素的综合结果。

(2) 模具温度的影响

单独改变模具温度的数值, 其他参数不变进行数值模拟分析, 得到各自翘曲量数值, 见表 12-7。

表 12-7 单独改变模具温度得到的翘曲量

模具温度 (°C)	70	80	85	90	95	100	105	110
总翘曲量 (mm)	0.6253	0.6018	0.5763	0.5766	0.5520	0.5358	0.5362	0.5275
X 向 (mm)	0.5866	0.5690	0.5399	0.5402	0.5277	0.5804	0.5131	0.5042
Y 向 (mm)	0.1446	0.1384	0.1318	0.1317	0.1251	0.1205	0.1205	0.1182
Z 向 (mm)	0.2834	0.2661	0.2473	0.2474	0.2278	0.2154	0.2153	0.2089



通过图 12-5 变化趋势可以看出，模具温度对翘曲量和体积收缩的影响很小。提高模具温度，能减小翘曲量，但是减小量很少。

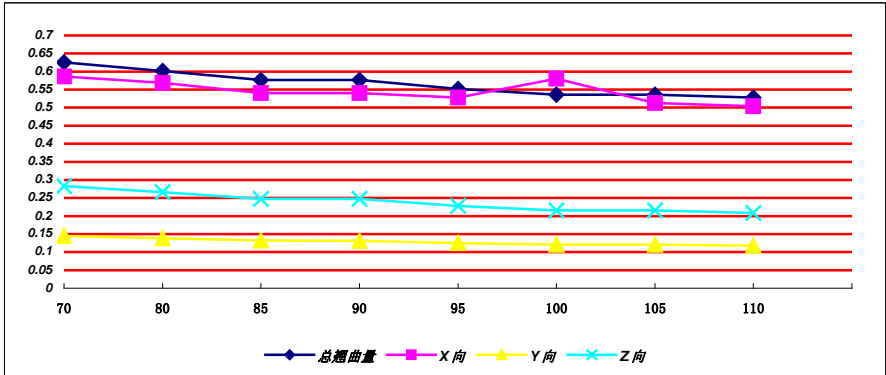


图 12-5 模具温度变化时翘曲量的变化趋势

提高模具温度（模温）后制品的冷却时间将会延长且生产率也会下降，但是为了改变聚碳酸酯等高黏度塑料的流动和充模性能，使它们获得致密的组织结构，需要采用较高的模具温度。对非结晶型塑料，模温高，一方面可以降低黏度，提高充模速率；另一方面，较高的模温使温差减小，冷却均匀，可以减小后收缩变形，防止产生凹陷、变形等缺陷。模具温度的升高有助于改善制品表面粗糙度，减小制品内应力和取向度，提高熔接缝强度和制品密度等，但会降低流线方向冲击强度。模温低，对低黏度的塑料是合适的，但当模具温度较低时，会导致过冷度增大，使黏度增大，分子取向增加，制件变形增大，影响制品质量。

（3）保压时间的影响

单独改变保压时间的数值，其他参数不变进行数值模拟分析，得到各自翘曲量数值，见表 12-8。

表 12-8 单独改变保压时间得到的翘曲量

保压时间 (s)	4	6	8	10	12	14	16	18
总翘曲量 (mm)	0.9566	0.7681	0.6050	0.5583	0.5534	0.5520	0.5519	0.5547
X 向 (mm)	0.8623	0.7453	0.5924	0.5259	0.5283	0.5277	0.5276	0.5363
Y 向 (mm)	0.3147	0.2256	0.1611	0.1470	0.1258	0.1251	0.1251	0.1239
Z 向 (mm)	0.6457	0.5148	0.3407	0.2637	0.2277	0.2278	0.2278	0.2275

从图 12-6 中的变化趋势可以看出，保压时间对非结晶型塑料塑件的翘曲变形有一定的影响，随着保压时间的增加（大概在 10s 左右），塑件的变形逐渐减小，直至基本保持不变。

保压时间增加，浇口冻结温度低，补缩作用强，有利于更多的熔体流入型腔以弥补因冷却收缩而产生的空隙，平板更加密实，使收缩率减小，从而减小翘曲变形。但是如果保压时间超过一定时间，足够使浇口凝固，则可降低体积收缩；浇口凝固后，保压就无效果。保压阶段初期，随着保压时间延长，制品的密度迅速增大，但当保压时间达到一定值后，制品的密度就会停止增长了。保压时间如果够长，足够使浇口凝固，则可降低体积收缩；浇口凝固后，保压时间就无效果。



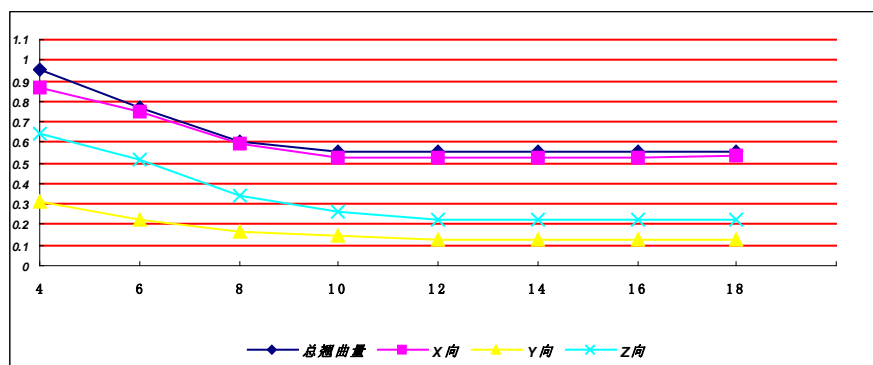


图 12-6 保压时间变化时翘曲量的变化趋势

(4) 保压压力的影响

单独改变保压压力的数值，其他参数不变进行数值模拟分析，得到各自翘曲量数值，见表 12-9。

表 12-9 单独改变保压压力得到的翘曲量

保压压力 (%)	80	85	90	93	97	100	110	120	130
总翘曲量 (mm)	0.9745	0.8628	0.7591	0.6959	0.6116	0.5520	0.3853	0.3223	0.4924
X 向 (mm)	0.8491	0.7567	0.6735	0.6226	0.5635	0.5205	0.3852	0.2527	0.1465
Y 向 (mm)	0.2908	0.2427	0.1919	0.1634	0.1294	0.1074	0.1984	0.3158	0.4540
Z 向 (mm)	0.4681	0.3962	0.3382	0.3024	0.2539	0.2167	0.0883	0.1475	0.2547

从图 12-7 中可以看出，随着保压压力的增加，翘曲变形缓慢减小，然后又缓慢地增加。保压压力在 110%~120%开始阶段的压力时，翘曲量最小。

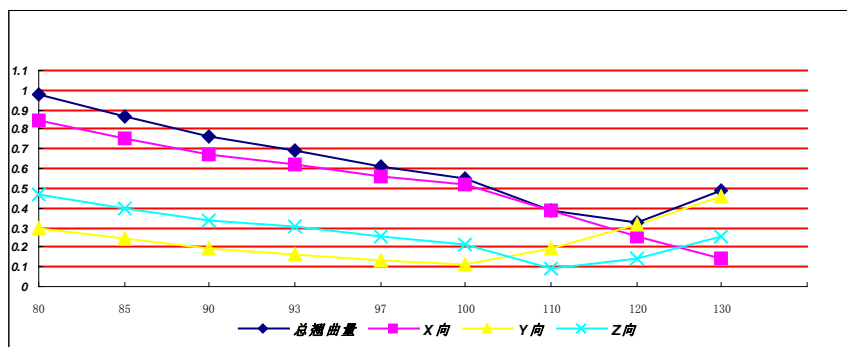


图 12-7 保压压力变化时翘曲量的变化趋势

高的保压压力能够降低产品收缩的几率，补充模穴的塑料越多，越可避免产品的收缩。但是太高的保压压力会造成产品不均匀收缩，而导致产品的翘曲变形。对于薄壳件而言，压力的影响更明显，这种情况更严重。在较高的保压压力作用下，可使制件得到较大的密度，使收缩率减小，表面质量提高。高中黏度的塑料（如聚碳酸酯、聚乙烯等）且制品壁厚小、流程长、精度要求较高时，要求高的保压压力。但保压压力过高，使制件残余应力增加，变形增大。



(5) 流动充填时间的影响

在保持表 12-5 工艺参数不变的情况下增加一组分析实验，即选择不同的流动充填时间，来查看对翘曲变形的影响，见表 12-10。

表 12-10 调整不同充填时间得到的翘曲量

充填时间 (s)	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
总翘曲量 (mm)	0.7114	0.6577	0.5624	0.5512	0.5220	0.5048	0.4921
X 向 (mm)	0.6619	0.6118	0.5368	0.5204	0.4997	0.4873	0.4772
Y 向 (mm)	0.1673	0.1541	0.1281	0.1244	0.1196	0.1363	0.1526
Z 向 (mm)	0.3485	0.3075	0.2361	0.2241	0.2015	0.1849	0.1687

从图 12-8 可以看出，总体来说，充模时间对非结晶型塑料塑件变形有一定影响，但不像保压压力、冷却时间对翘曲变形的影响有明显的趋势。随着充模时间的增加，塑件的变形逐渐减小。

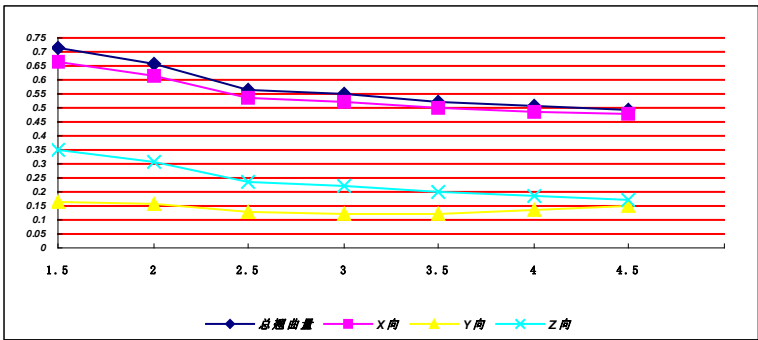


图 12-8 流动充填时间变化时翘曲量的变化趋势

熔体在型腔中的流动速度基本上由注射速率所控制。在型腔结构一定和其他条件相同的情况下，减少注塑时间相当于提高注射速率，注射速率越高，熔体在型腔中流动越快。注射速率对翘曲变形的影响比较复杂，主要是由于注射速度决定着熔体的充模速率，而充模速率对塑料产品性能的影响也比较复杂。

(6) 成型时间的影响

单独调整成型时间的数值，其他参数不变进行数值模拟分析，得到各自翘曲量数值，见表 12-11。

表 12-11 调整不同成型时间得到的翘曲量

总时间 (s)	50	55	60	65	70	75	90	100	110	120
总翘曲量 (mm)	0.5668	0.5643	0.5609	0.5555	0.552	0.5486	0.5405	0.5413	0.5385	0.5435
X 向 (mm)	0.5400	0.5382	0.5352	0.5307	0.5277	0.5251	0.5183	0.5172	0.5124	0.5054
Y 向 (mm)	0.1317	0.1293	0.1275	0.1260	0.1251	0.1240	0.1280	0.1230	0.1235	0.1240
Z 向 (mm)	0.2422	0.2385	0.2348	0.2303	0.2278	0.2256	0.2210	0.2213	0.2195	0.2201

从图 12-9 可以看出，总的来说，当成型时间达到一定数值时，成型时间越长，产品体积收缩的几率越大。成型时间越短，翘曲变形的几率越低。成型时间越短，由于模腔内熔体没



有很好地冷却定型。

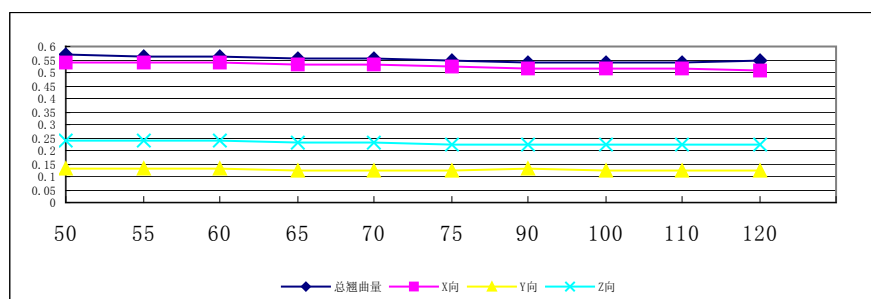
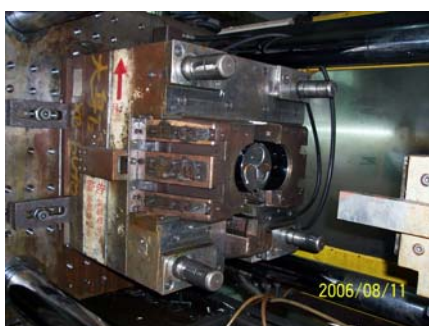


图 12-9 成型时间变化时翘曲量的变化趋势

出模时温度越高，其收缩率越大，翘曲变形也越大。相反，成型时间越长，模腔内的熔体将充分硬化，出模后的制品尺寸更接近模具尺寸，其翘曲变形就越小，所以翘曲变形随成型时间的增加而减少。而且冷却时间长，制品内应力减小。

根据在 Moldflow 分析过程中指导建立的浇注系统和冷却（保温）系统，以及在模温、料温、填充时间与压力（保压曲线）等工艺参数的设置，从而在模具设计上为其提供充分的参考和方案。如图 12-10 (a)、(b) 所示为该水煲塑件的动定模部分。如图 12-11 所示为该水煲塑件注射出来的产品图。产品在浇口处没有出现波流纹，没有出现欠注短射现象，其与煲座、煲盖、手柄出的配合相当好，这说明其翘曲变形控制在一个很小的范围内。



(a)



(b)

图 12-10 水煲塑件的动定模



(a)



(b)

图 12-11 水煲与煲座、煲盖和手柄的配合



(1) 对于水煲塑件，工艺参数对其翘曲变形影响程度是非常显著而不同的，通过正交实验研究熔体温度，冷却时间，流动充模时间，模具温度，保压时间和保压压力等对其的影响程度。

(2) 由单个工艺参数对翘曲的影响趋势来看，正交试验中方差分析获得的最优工艺参数是最优工艺参数组合，证明了正交试验方法是获得最优工艺参数的一种很好的方法。

(3) 全面研究了工艺参数对翘曲量的影响，并且得出了工艺参数的最佳组合，这对工艺参数优化起到了定量的指导意义。



13.1 汽车保险杠

如图 13-1 所示的产品，为汽车保险杠。采用 PP 塑料以热流道成型，模流分析验证填充，压力，熔接线和气泡等可能发生情况。

在分析中采用 Generic Default 的 PP 塑料，在数值上会与实际有差异，但趋势是一致的。

塑料材料简介：

1) Melt Density	0.7283g/cm ³
2) Solid Density	0.8916g/cm ³
3) Ejection Temperature	230℃
4) Recommended Mold Temperature	40℃
5) Recommended Melt Temperature	240℃
6) Absolute Max. Melt Temperature	280℃
7) Melt Temperature Minimum	230℃
8) Melt Temperature Maximum	300℃
9) Mold Temperature Minimum	50℃
10) Mold Temperature Maximum	100℃
11) Maximum Shear Rate	40000l/s
12) Maximum Shear Stress	0.4Mpa

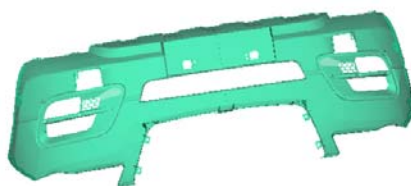
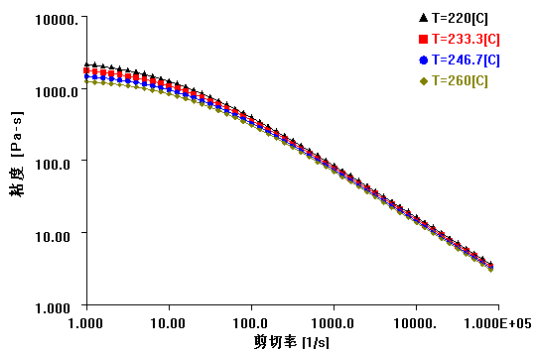
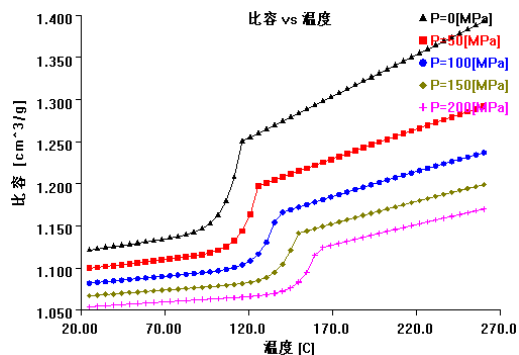


图 13-1 汽车保险杠塑件外形

该塑料的黏度曲线、材料的 PVT 曲线如图 13-2 所示。



(a)



(b)

图 13-2 塑料的黏度和 PVT 曲线



产品尺寸约为 1520mm×570mm×500mm。产品壁厚均匀，基本壁厚为 3.0mm，如图 13-3 所示。

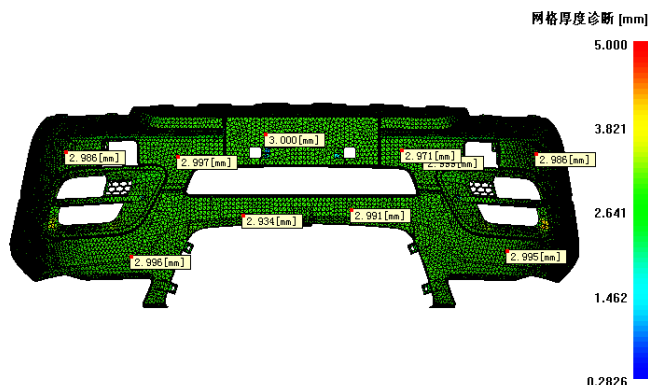


图 13-3 产品尺寸

对此类边条产品，可使用 Moldflow 有限元分析网格中的 Fusion(双层面网格)或 Midplane(中性层网格)进行分析，分析结果一致。前者取外壳双层网格，外表形状与 3D 模型相同，前处理时间较短，但网格数目是后者的数倍以上，分析时间较长；后者取中间单层网格，局部区域形状需做等效处理，前处理时间较长，但分析时间较短。由于本产品属于比较均匀的壁厚产品，故分析采用前者，如图 13-4 所示。

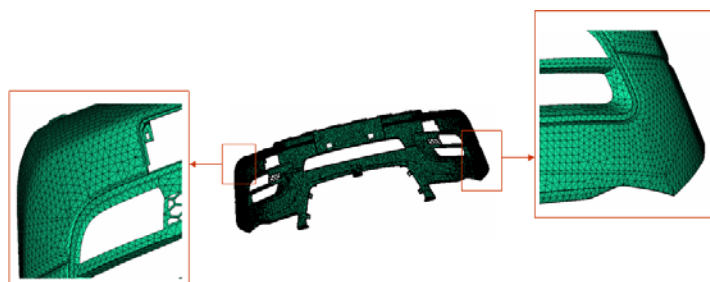


图 13-4 产品网格划分

浇注系统采用五点热流道分 6 点冷流道扇形浇口进料到产品侧面，如图 13-5 所示。

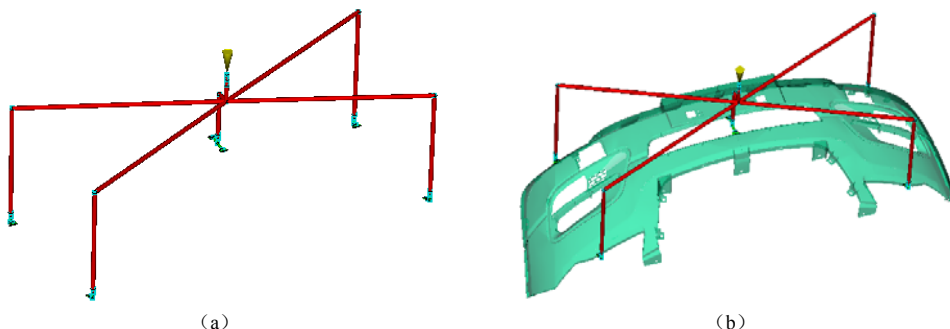


图 13-5 浇注系统

保压曲线的设置如图 13-6 所示。



注射机设定: Machine maximum clamp force: 2500 tonne; Maximum pressure: 120.00MPa。

充填条件: Mold temperature: 40.00℃; Melt temperature (Hot Runner): 230.00℃。

冷却条件: Cooling time: 20sec

分析结果如下:

(1) 充填时间 (如图 13-7 所示)

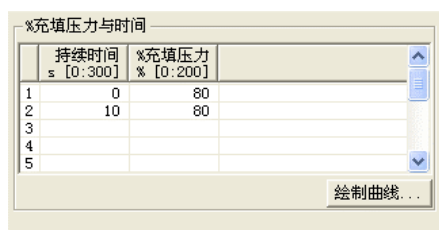


图 13-6 保压曲线设置

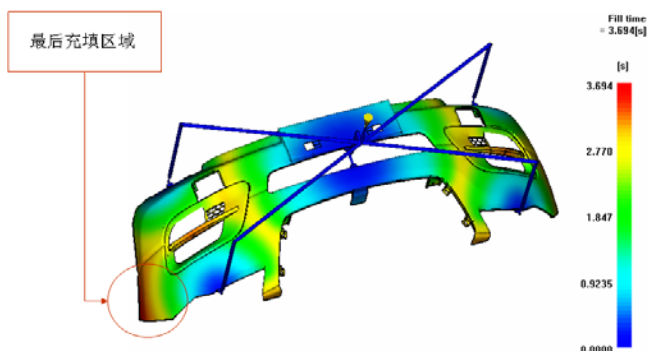


图 13-7 充填时间

充填时间约为 3.7 秒, 填充近似平衡, 箭头指示处为最后充填区域。充填流动过程如图 13-8 所示。

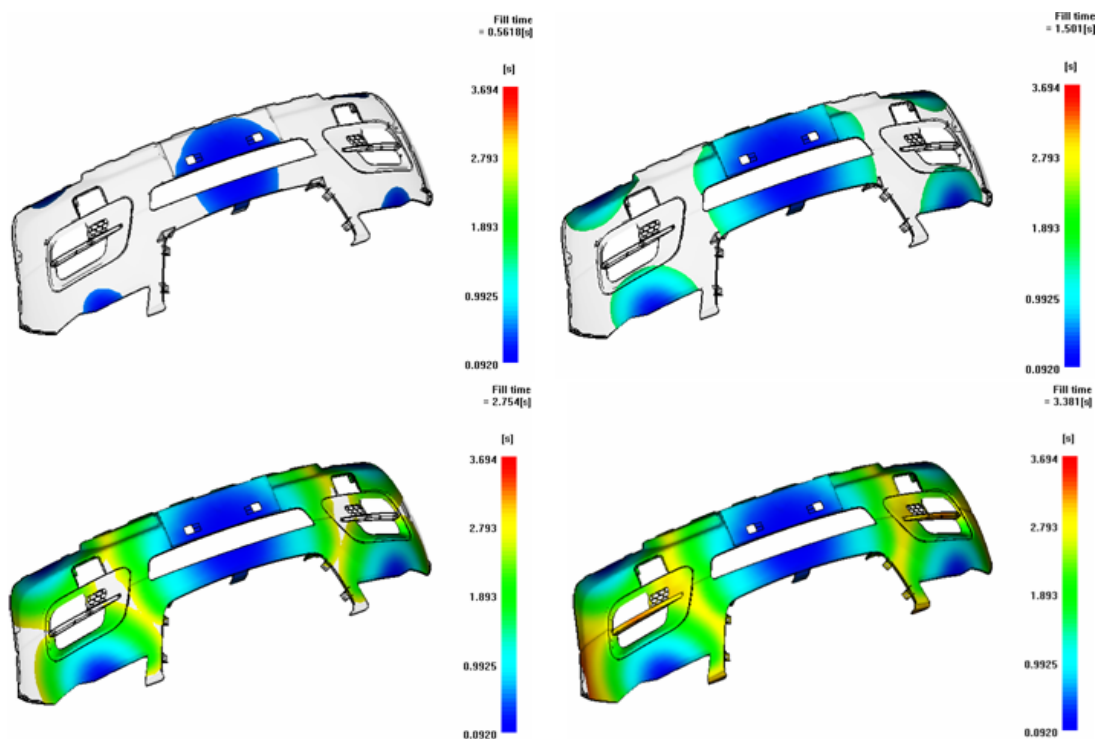


图 13-8 充填流动过程

(2) 流动波前温度分布 (如图 13-9 所示)



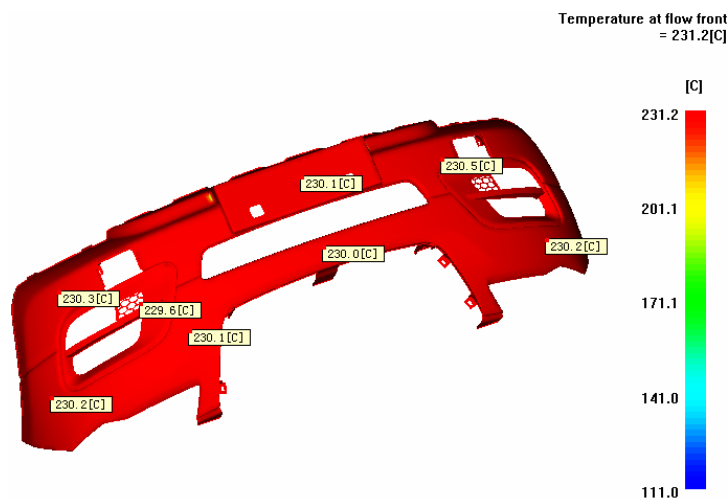


图 13-9 流动波前温度分布

图 13-9 表示的是充填过程中流动波前温度的分布,几乎全部分布在高温区域 230℃ 之间,背面薄筋处温度达到 111℃,不过不影响充填。

(3) 充填过程冷凝层厚度分布

图 13-10 显示了充填过程中冷凝层厚度分布,从中可以看出,充填途中整个产品内壁冷凝层因子在 0.20 以内,利于产品充填。

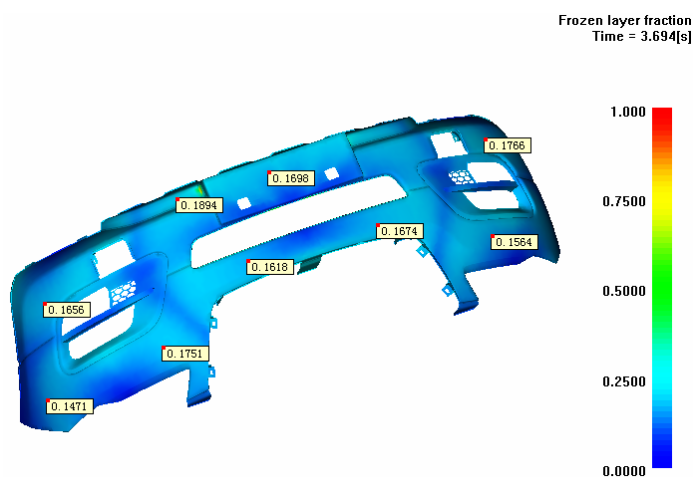


图 13-10 充填过程冷凝层厚度分布

(4) 充填压力

如图 13-11 所示为充填/保压切换时所需的注射压力,压力较大,达 60.1MPa。

(5) 熔接痕位置与气穴分布

如图 13-12 (a) 表示的线为熔接痕线位置,分布在产品不明显的地方,效果好。图 13-12 (b) 的粉红色小圈表示可能的气穴位置,注意设置相关机构排除,特别是标示的位置。

(6) 各浇口出胶量 (如图 13-13 所示)



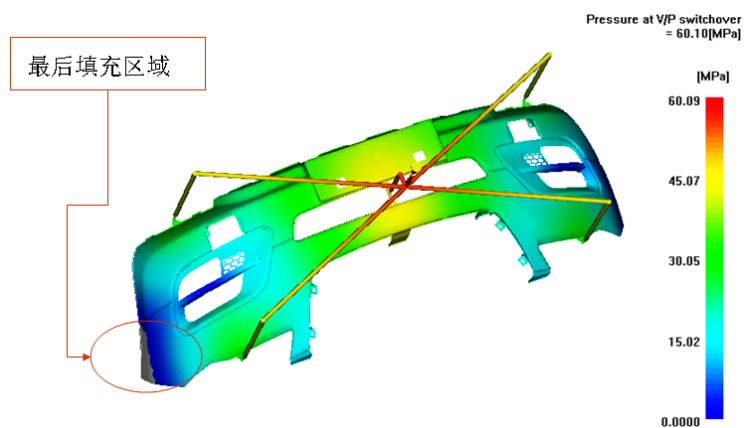


图 13-11 充填压力

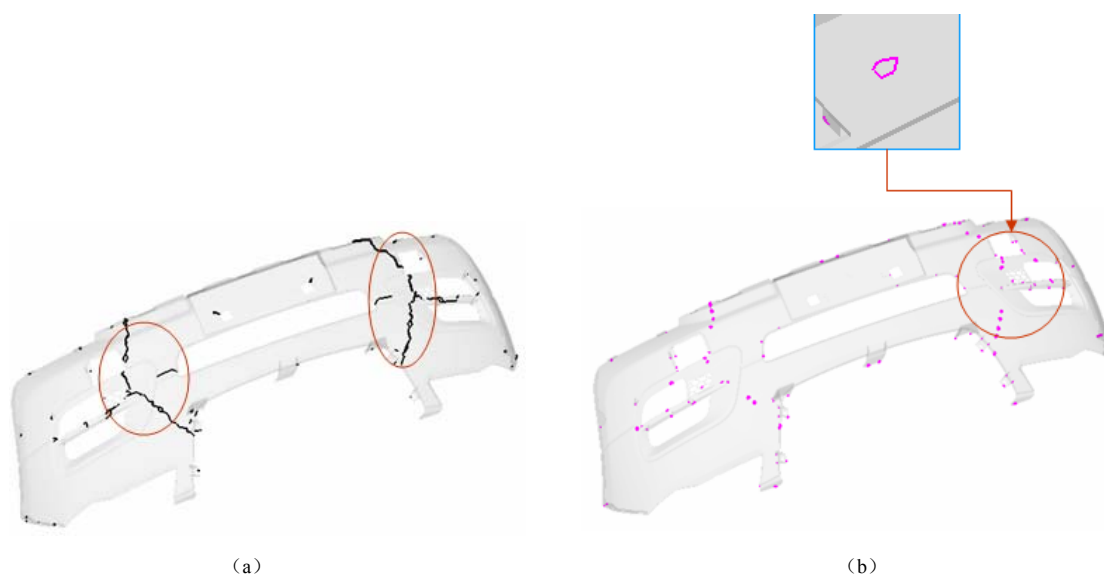


图 13-12 熔接痕位置与气穴分布

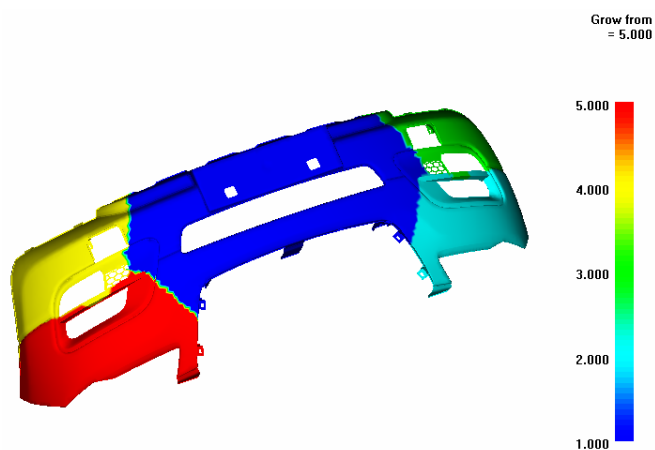


图 13-13 各浇口出胶量



(7) 剪切热分布

图 13-14 表示的是剪切热的分布情况，可以看到在浇口区域，产品流速最大，引起的剪切热也最大，不过低于材料的裂解温度。故材料在充填过程中不会分解炭化。

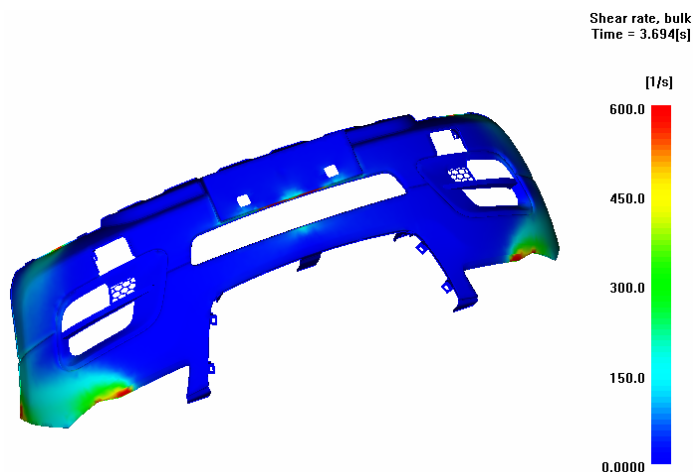


图 13-14 剪切热分布

(8) 注射压力与锁模力变化曲线

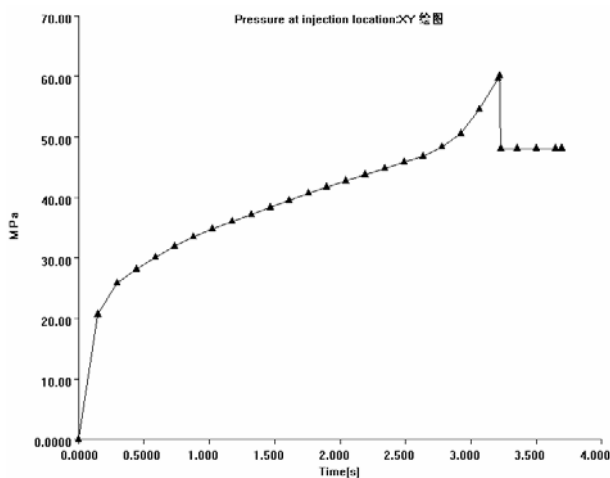
如图 13-15 (a) 所示为整个成型周期中注射压力随时间的变化曲线，图 13-15 (b) 是锁模力随时间的变化曲线。最大压力为 60.1MPa，最大锁模力为 1600t。

从分析结果中得知：

(1) 产品充填没有任何问题，而且充填过程近似平衡，无滞流、短射产生。

(2) 产品外观表面有四条比较明显的熔接痕迹，不过熔接处温度较高，达到了 230℃。既利于料头熔接，又提高了熔接线的强度。建议采用针阀顺序控制，可以完全消除掉熔接线，不过热流道成本会相对提高很多。气泡分布在产品侧面，需要在该处很好地设置排气。

(3) 从充填压力和最大锁模力来看，都比较理想，不会因锁模不足问题导致产品出现飞边现象。



(a)



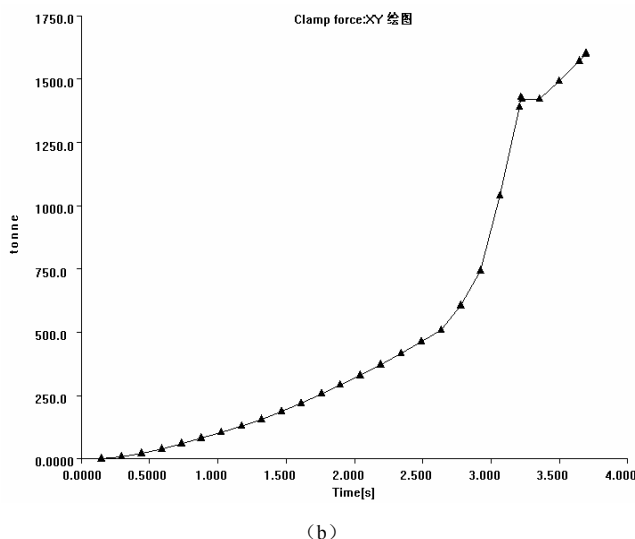


图 13-15 注射压力与锁模力变化曲线

13.2 录音机前面板

录音机前面板塑件如图 13-16 所示。

该录音机前面板塑件的主要缺陷：流道太多，尺寸较大，废料率高，所需冷却时间长。解决上述问题主要采用下面的优化方案：

(1) 优化浇注系统，确定最佳浇口位置和流道尺寸，缩短注塑循环时间，节省材料。

(2) 优化冷却系统，缩短注塑循环时间；确定最佳成型工艺条件；以此过程为基础，制定设计同类产品的标准程序。

塑件材料采用 LG Chemical 401AF (HIPS)，其基本属性如下：

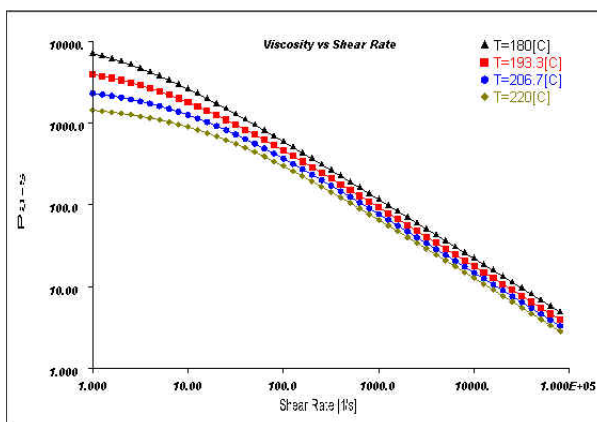
- 1) 热传导系数：0.15 W/m/°C
- 2) 推荐注射温度：200.0°C
- 3) 比热：1507.0 J/kg/°C
- 4) 推荐模具温度：50.0°C
- 5) 熔体密度：1045.2 kg/m³
- 6) 许可剪切应力：0.30MPa
- 7) 顶出温度：75.0°C
- 8) 许可剪切速率：40000 1/s

该塑料的黏度曲线、材料的 PVT 曲线如图 13-17 所示。

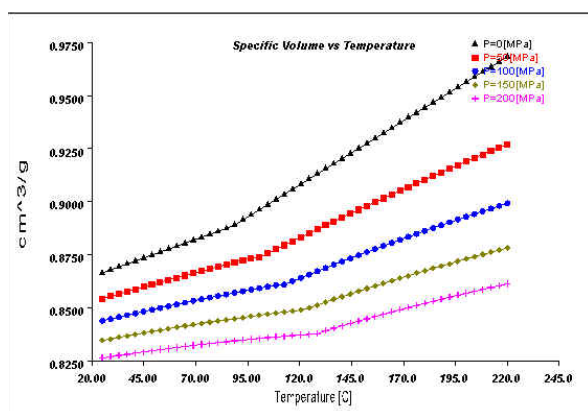


图 13-16 录音机前面板塑件





(a)



(b)

图 13-17 塑料的黏度曲线、材料的 PVT 曲线

成型工艺条件如下：

- 1) 模具温度：50.0℃
- 2) 注射时间：2.0s
- 3) 冷却时间：30.0s
- 4) 熔体温度：200.0℃
- 5) 冷却水温度：30℃
- 6) 开模时间：12.0s

7) 保压曲线：压力[MPa]	时间[s]
40.0	0.0
40.0	4.0
0.0	4.0
0.0	30.0

13.2.1 方案 1（原始浇注系统）

采用如图 13-18 所示的浇注系统，所有的流道尺寸相同。圆圈处的浇口为侧浇口，其余为点浇口。该浇注系统的缺点是：流道太厚、太多。



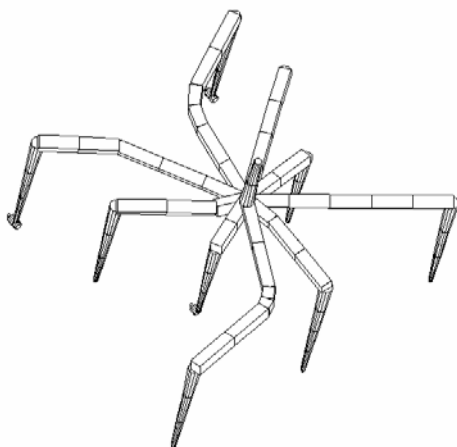


图 13-18 方案 1 浇注系统

(1) 充填过程 (如图 13-19 所示)

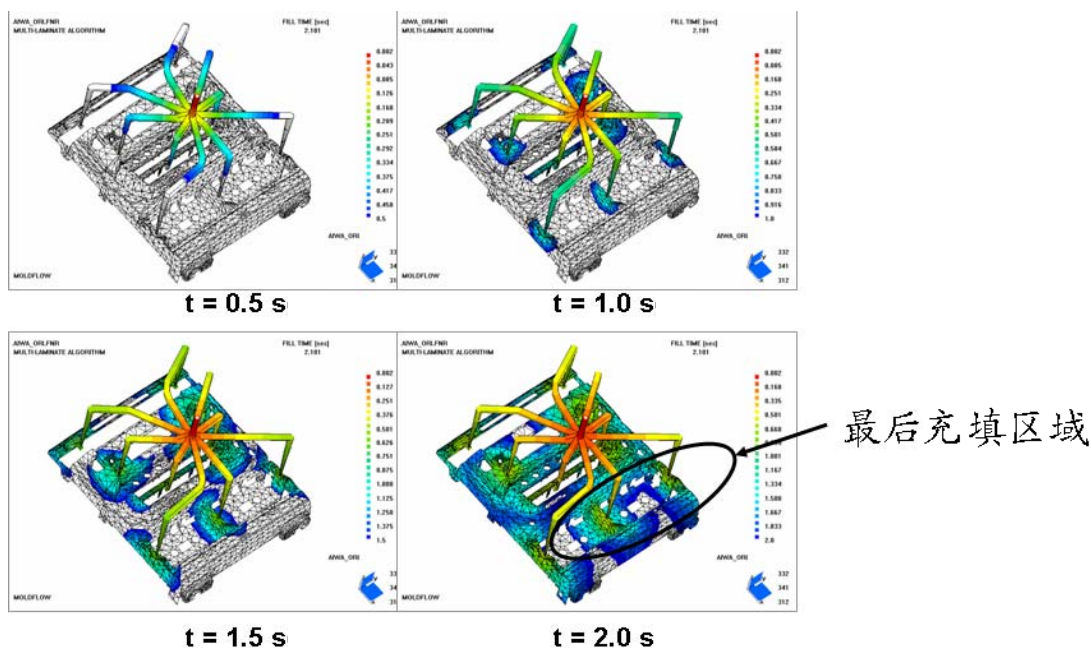


图 13-19 充填过程

可以看出：流动不平衡，在制品底部表现尤为明显。

(2) 压力分布 (如图 13-20 所示)

在充填末端压力降最大 (图中圆圈处)，大约为 48MPa。

(3) 锁模力和压力曲线 (如图 13-21 所示)

从图 13-21 中可看出，在现有工艺条件下，成型制品需要 48MPa 的注射压力和 255t 的锁模力。在填充末端有一个压力峰值，这是由于填充不平衡所导致的。这可能引起对注塑机的瞬时冲击，对设备造成不良影响。



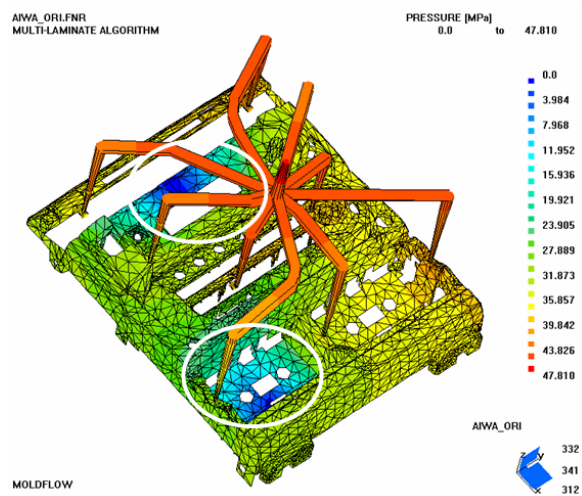
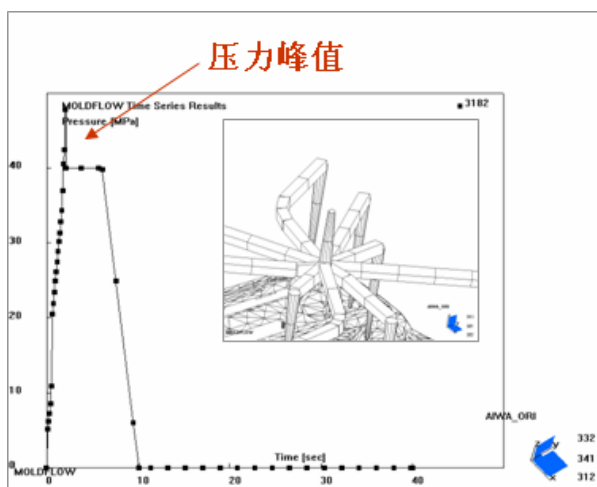
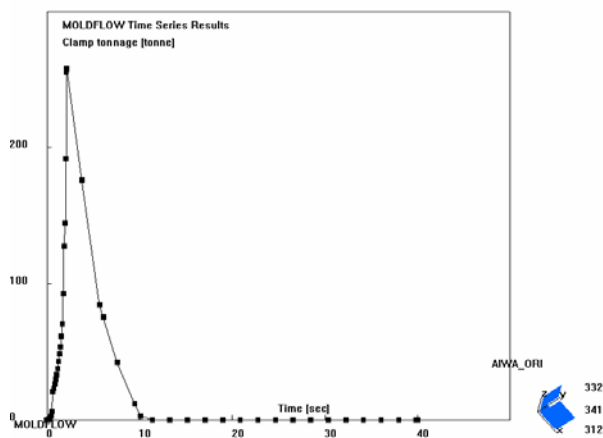


图 13-20 压力分布



(a)



(b)

图 13-21 锁模力和压力曲线



(4) 气穴位置 (如图 13-22 所示)

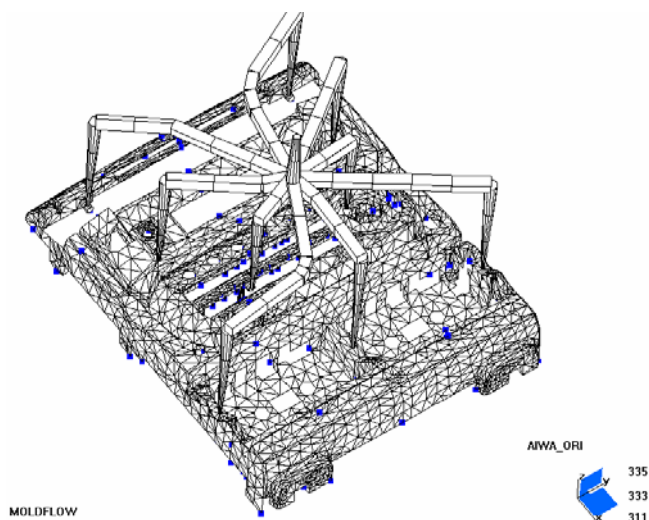


图 13-22 气穴位置

在筋、肋底部和边缘的气穴由于排气不良, 将导致填充不满和烧焦。

(5) 熔接痕位置 (如图 13-23 所示)

由于制品几何形状和浇口位置的因素, 产生了许多熔接痕。

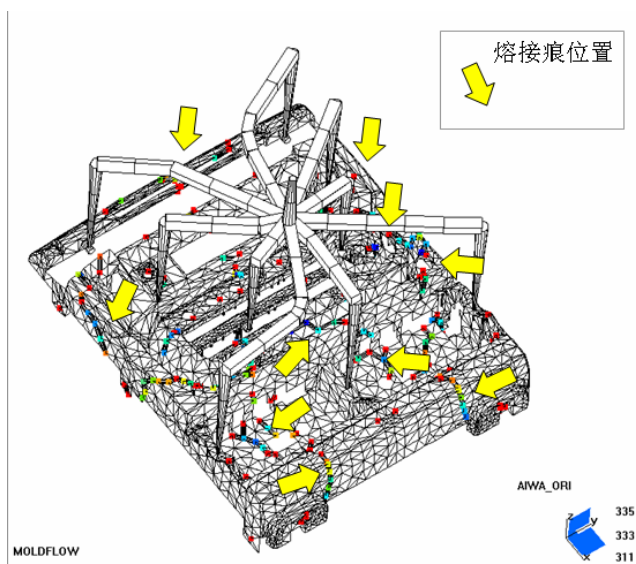


图 13-23 熔接痕位置

(6) 冷冻层百分比 (如图 13-24 所示)

如图 13-24 所示, 流道部分由于太厚, 到 20.9 秒时只冻结了 35%, 到 30 秒时冻结了 45%。通常, 当制品部分冷却到 80%, 流道部分冷却到 60%时, 可以顶出制品。



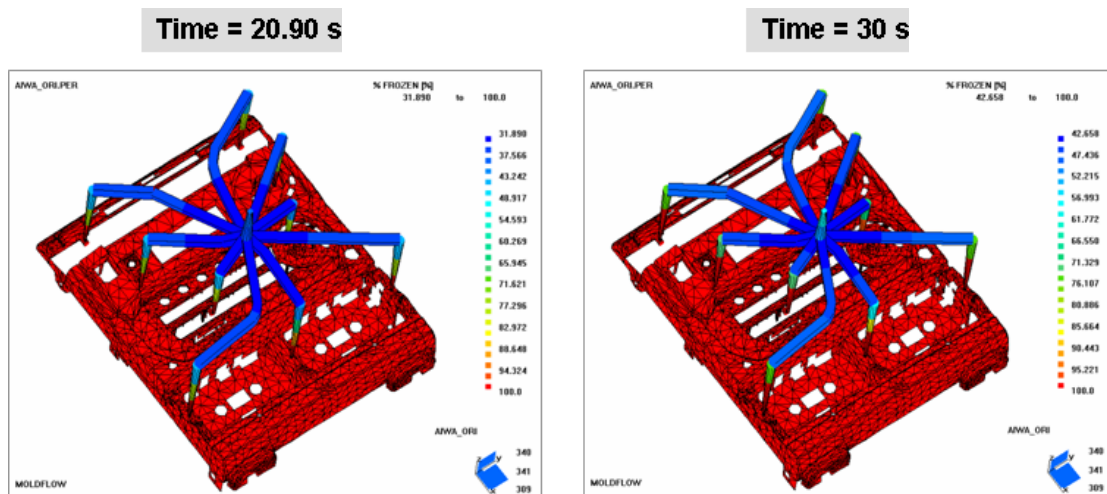


图 13-24 冷冻层百分比

(7) 制品表面温度分布 (如图 13-25 所示)

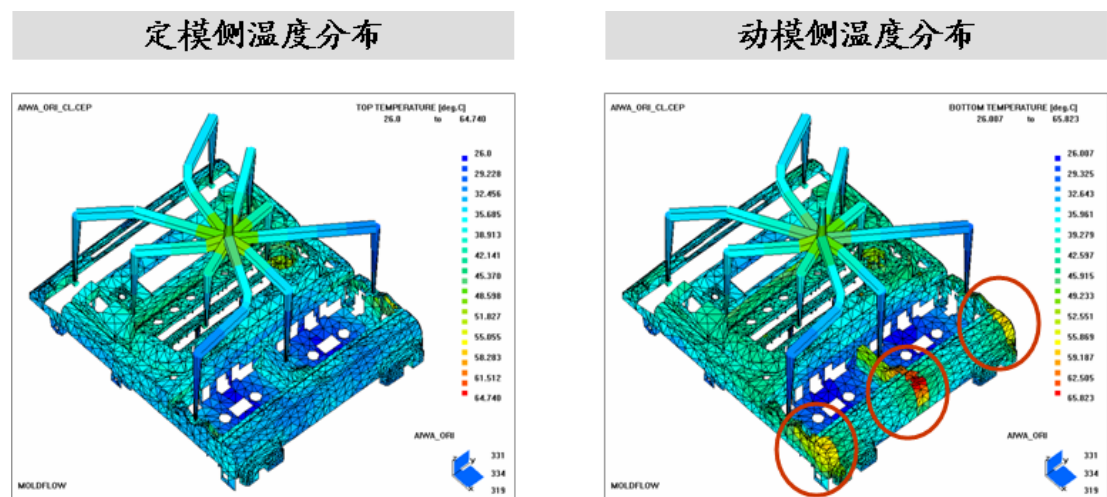


图 13-25 制品表面温度分布

图 13-25 中, 右图中圆圈处温度较其他部分高, 为了得到更均匀的冷却, 需要在上述部位加强冷却 (修改冷却系统或选用热传导系数大的模具材料)。

(8) 冷却水道分析 (如图 13-26 所示)

冷却水进出口温差小于 1°C , 冷却效率高。要到达这个效果, 需要 25kPa 的压力和 5L/min 的体积流量。

(9) Y 方向变形量 (如图 13-27 所示)

如图 13-27 所示, 产品底部 (箭头所指处) 向里收缩了约 0.35mm , 在设计精度范围内 (0.5mm)。

(10) Z 方向变形量 (如图 13-28 所示)



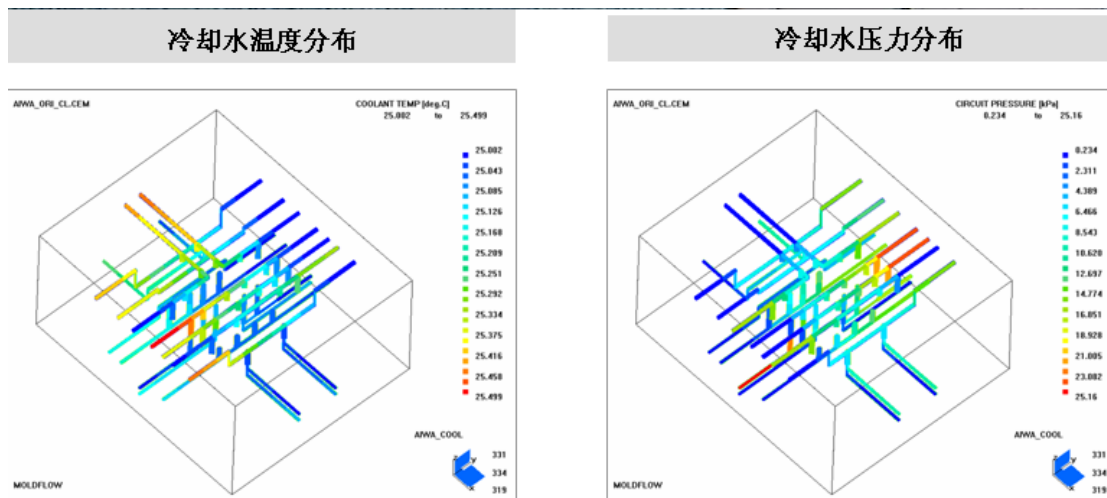


图 13-26 冷却水道分析

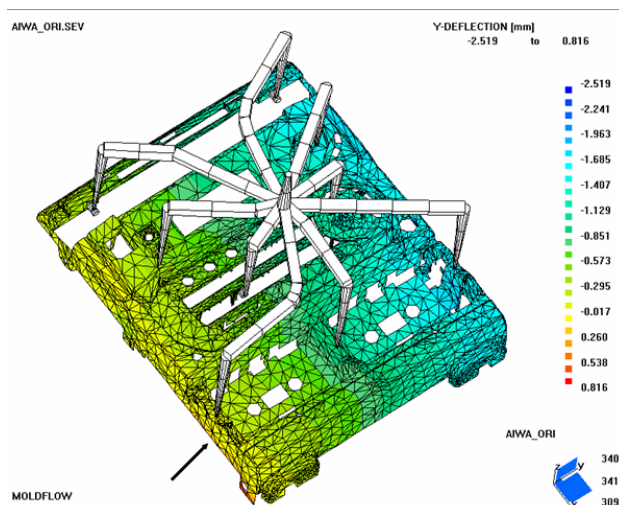


图 13-27 Y 方向变形量

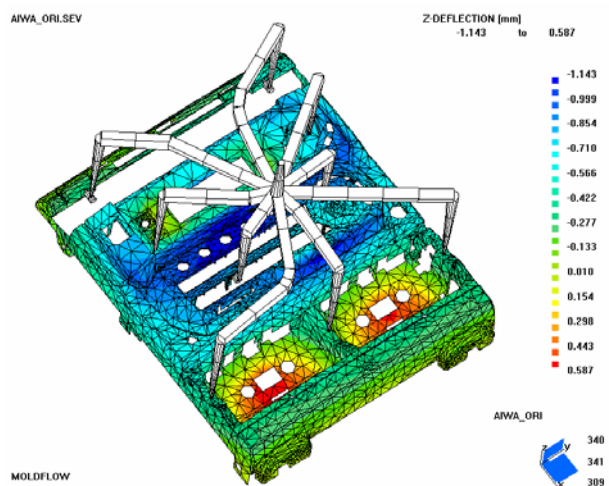


图 13-28 Z 方向变形量



制品中央向下凹了 1.1mm，底部向上凸了 0.6 mm。这主要是由制品壁厚不均匀和保压压力不均匀所引起的收缩不均匀导致的。

13.2.2 方案 2（只改变流道尺寸）

如图 13-29 所示浇注系统，保留原有浇注系统分布位置，减小流道尺寸，希望达到节省材料、缩短冷却时间的目的。

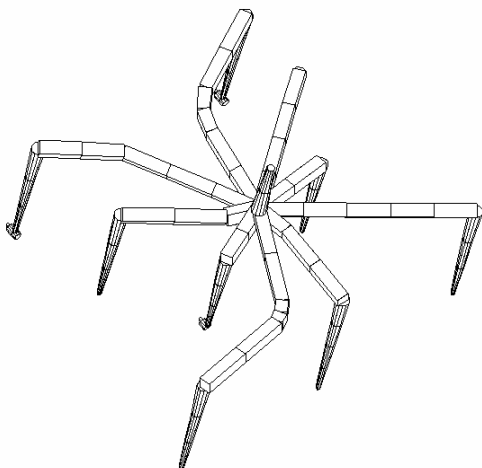


图 13-29 方案 2 浇注系统

（1）充填情况

充填不平衡。由于没改变浇口位置和流道分布，充填情况与原始方案很接近。

制品中央部分将过保压。压力、温度、熔接痕、气穴、变形量等均与原始方案很接近。

如图 13-30 所示。

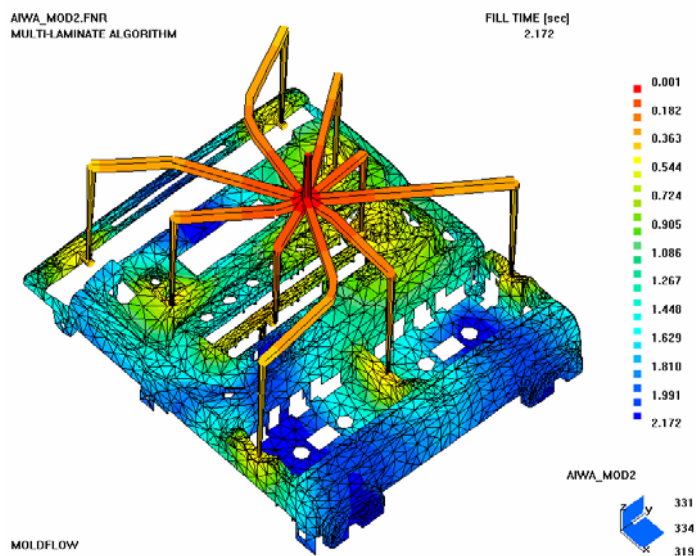


图 13-30 充填情况



(2) 注射压力和锁模力

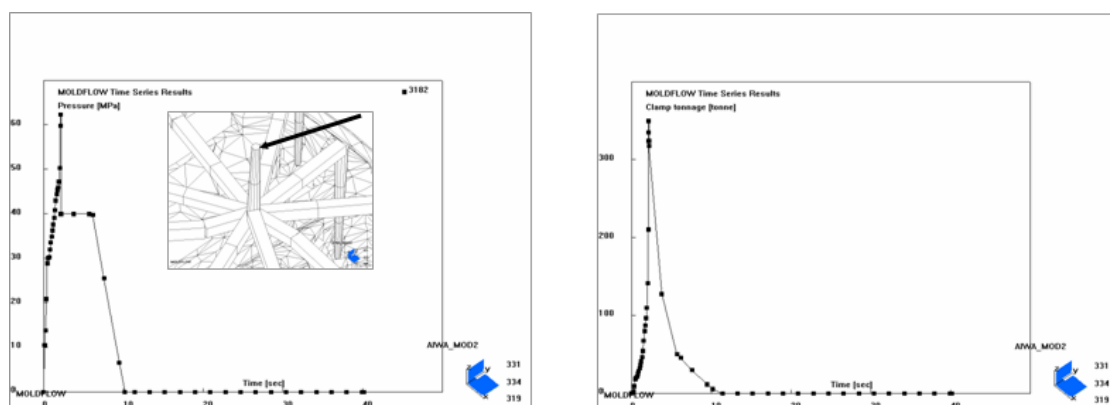


图 13-31 注射压力和锁模力

如图 13-31 所示，注射压力和锁模力分别比原始方案增加了 10MPa 和 80t（因减小了流道尺寸）。

(3) 变形量

制品变形后的形状与原始方案很接近，如图 13-32 所示。

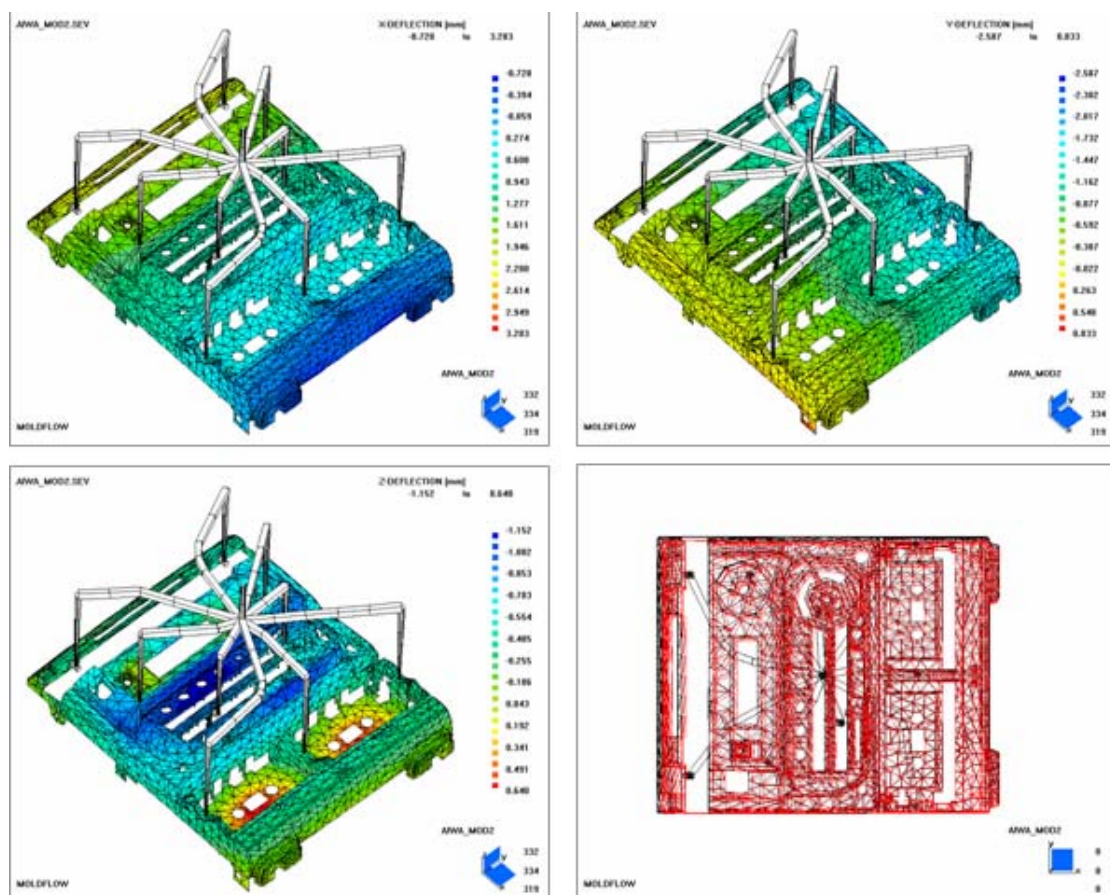


图 13-32 变形量



13.2.3 方案 3（改变浇注系统）

如图 13-33 所示，简化了流道分布并减小了流道尺寸。

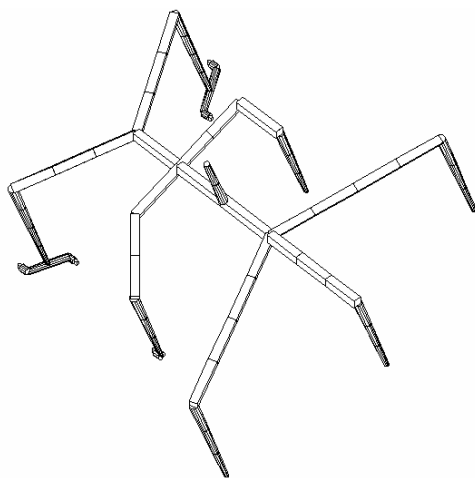


图 13-33 方案 3（改变浇注系统）

（1）充填情况

如图 13-34 所示，充填仍然不均匀，但比方案 1、2 有了改善。因为充填更均匀，注射压力和锁模力将减小。

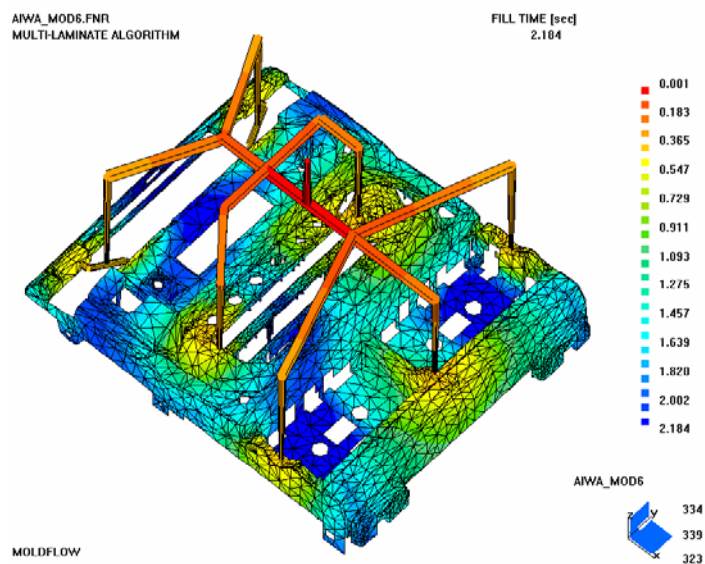


图 13-34 充填情况

（2）注射压力和锁模力

如图 13-35 所示，最大锁模力为 298t，比方案 2 低（355t）（因为充填更均匀）。



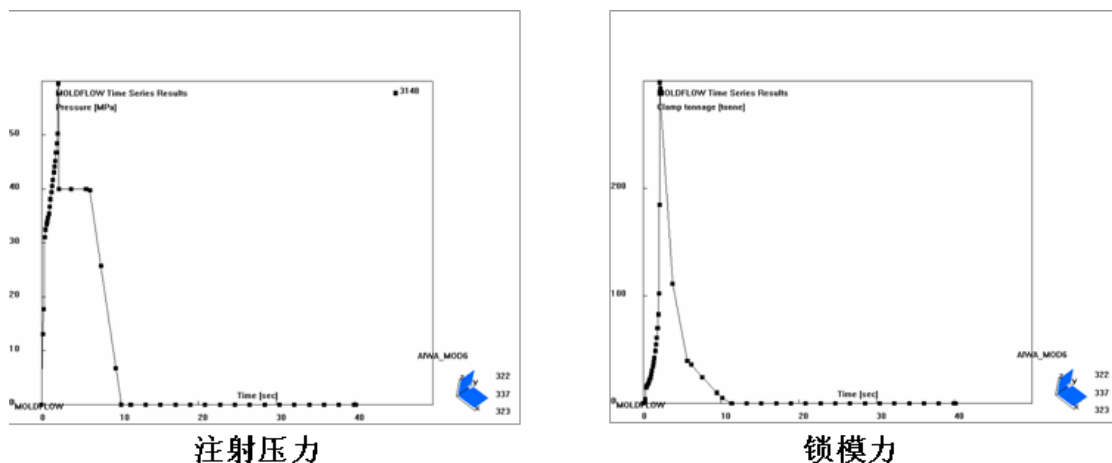


图 13-35 注射压力和锁模力

(3) 冻结情况

如图 13-36 所示，在同一时间（20.9 秒），按方案 3 生产的制品已全部冻结，流道冻结了 60%，比原始方案（40 秒）缩短了 19 秒；而原始方案却只有 35%。因此，在 21~24 秒时可开模。

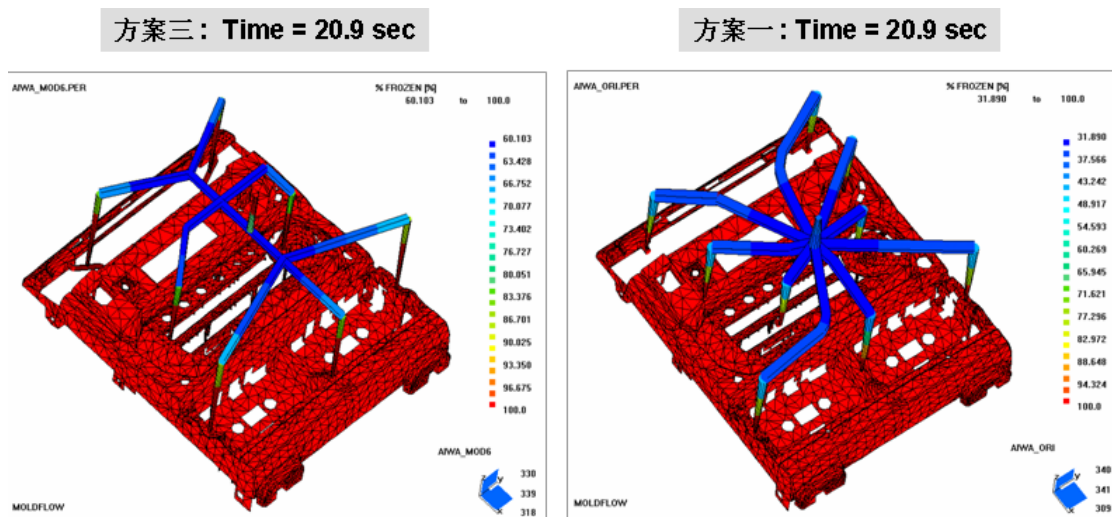


图 13-36 冻结情况

(4) 变形情况

如图 13-37 所示，制品变形后的形状与原始方案很接近，但变形量减小了 10%。



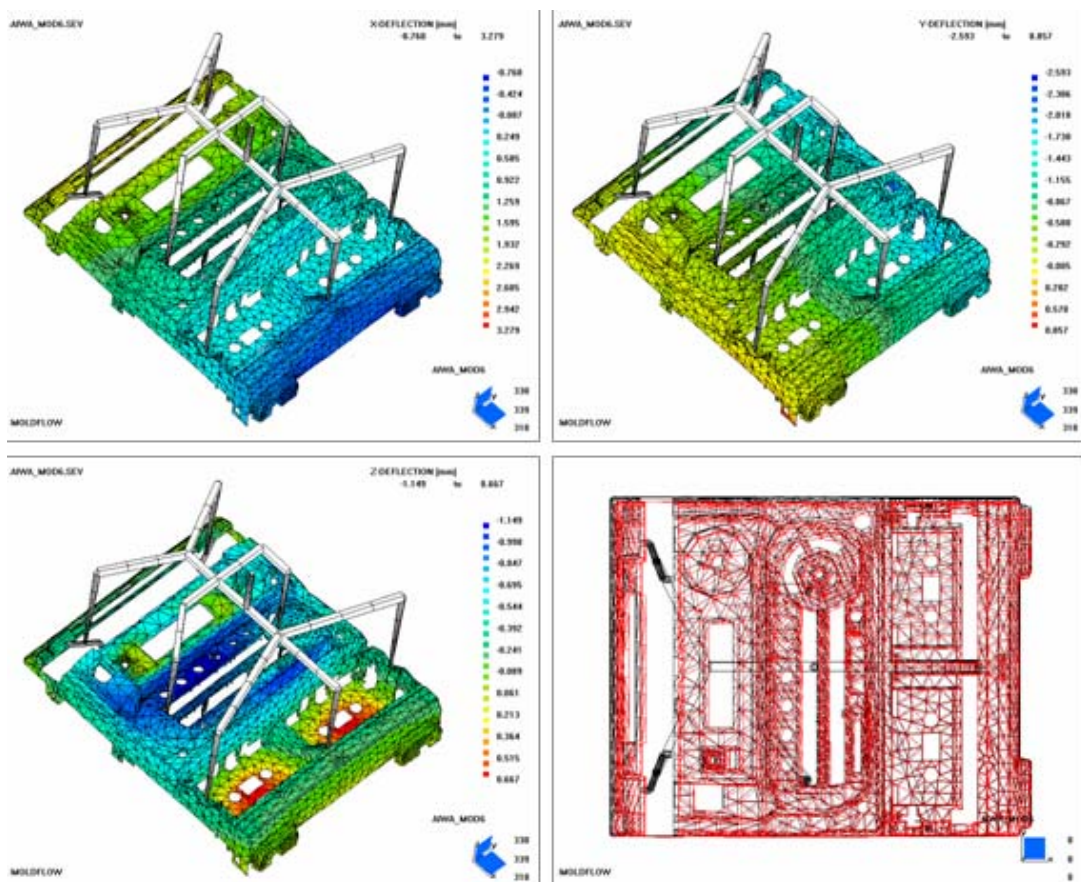


图 13-37 变形情况

13.2.4 方案 4（采用热流道系统）

热流道的使用将降低注射压力和锁模力，而且节省材料。但将增加模具成本与模具维护费用。采用如图 13-38 所示的热流道系统。

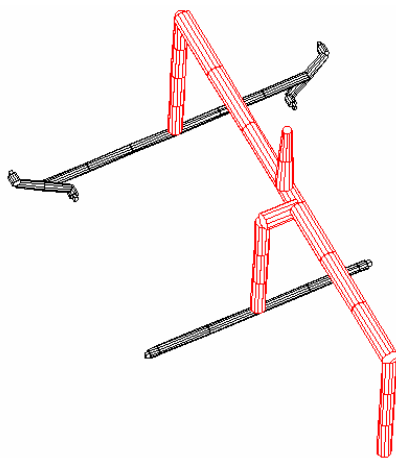


图 13-38 热流道系统

(1) 充填情况

如图 13-39 所示，充填情况仍不均匀，与方案 1 比较接近。

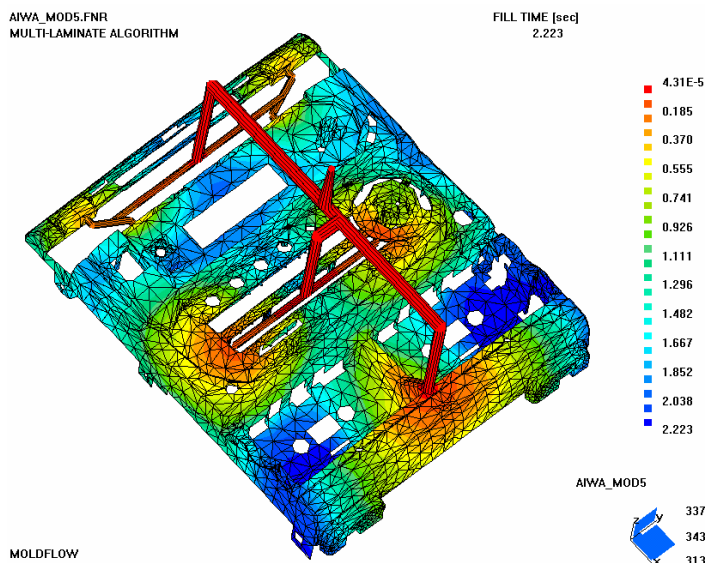


图 13-39 充填情况

(2) 注射压力与锁模力

如图 13-40 所示，最大注射压力为 63MPa，所需锁模力为 276t，比原始方案（255t）大。这是因为减少了浇口数目所导致的。

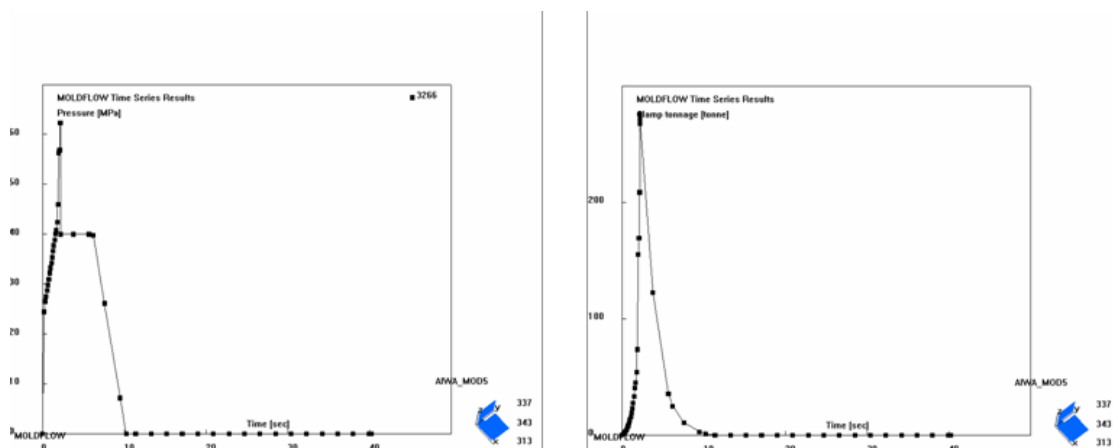


图 13-40 注射压力与锁模力

(3) 变形情况

如图 13-41，制品变形后的形状和变形量都与原始方案很接近。



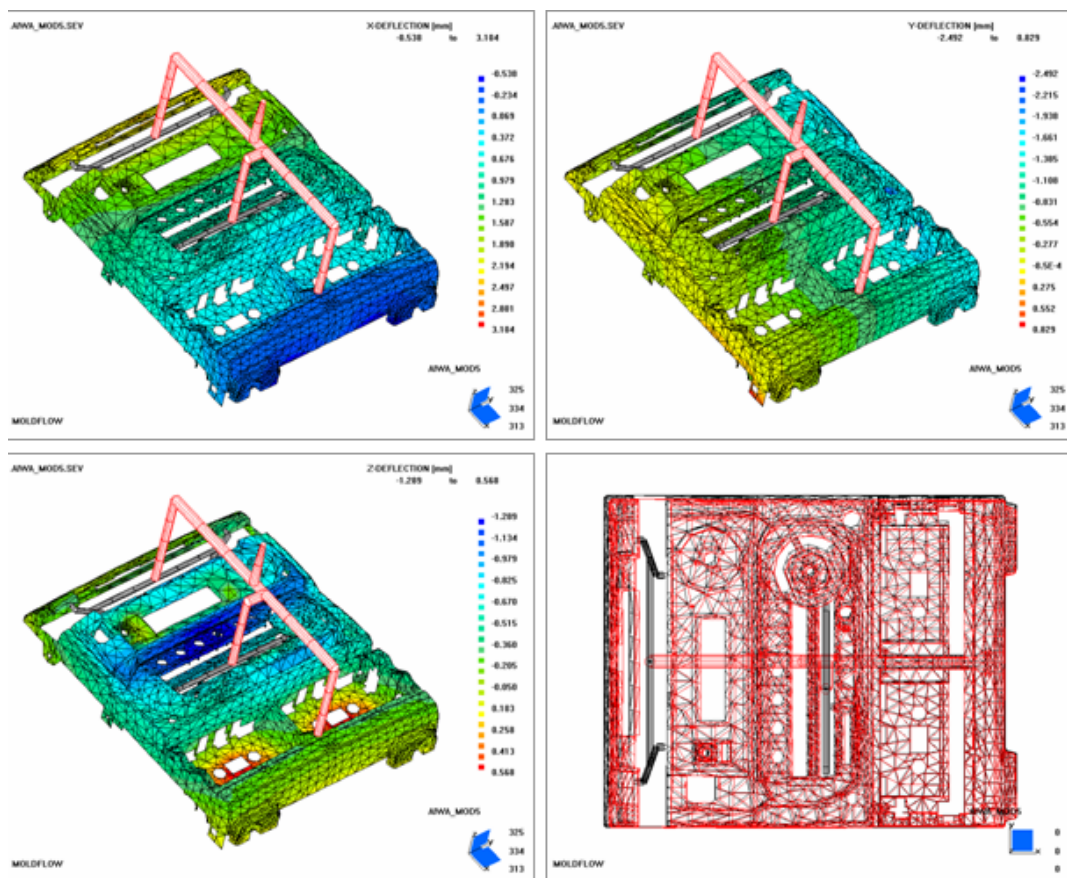


图 13-41 变形情况

13.3 优化冷却系统，缩短成型周期

如图 13-42 所示，原始方案的冻结时间与模具温度分布，制品上厚的突出部分的冻结时间达 33 秒，因这些部位温度较高，这是延长制品所需冷却时间的主要原因。为了缩短冷却时间，必须在上述部位增加冷却措施。

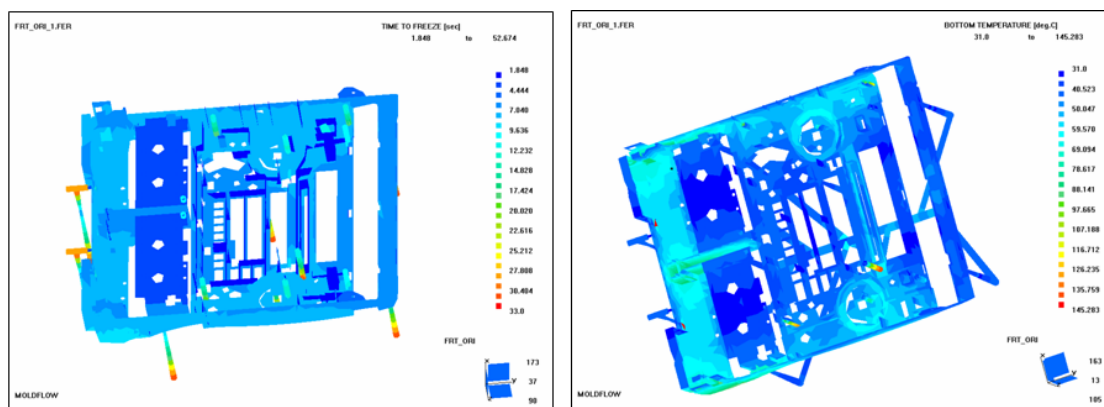


图 13-42 原始方案的冻结时间与模具温度分布



对冷却系统进行修改，如图 13-43 所示。

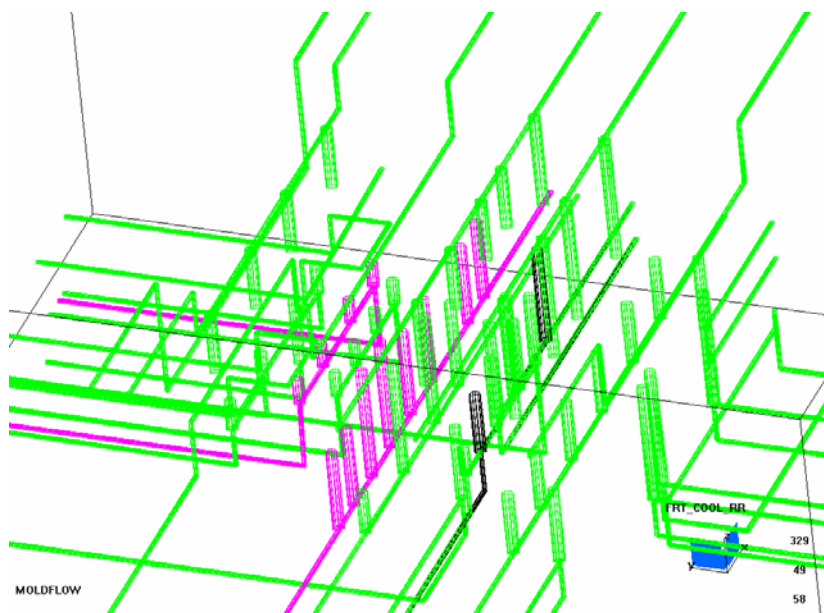


图 13-43 修改后的冷却系统

(1) 实际冷却时间（修改方案后）

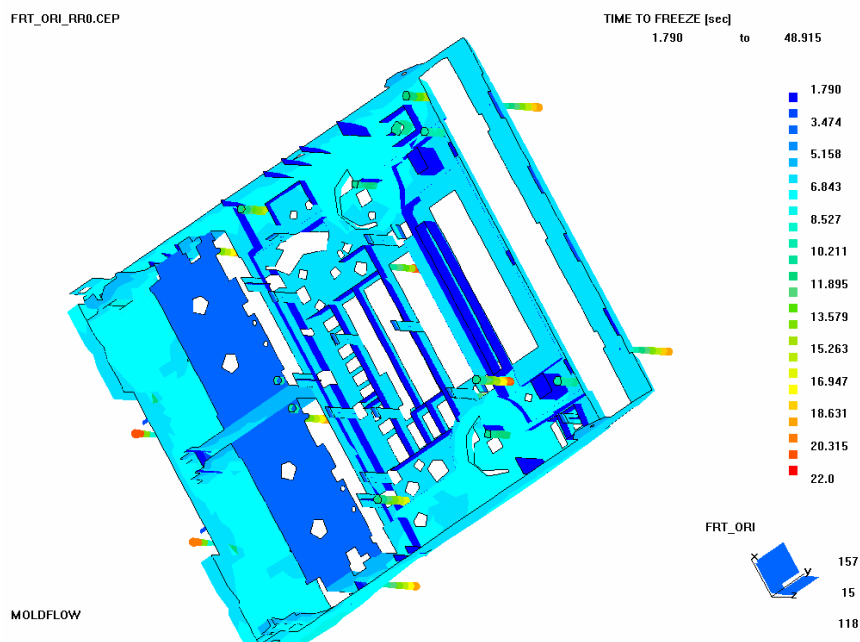


图 13-44 实际冷却时间（修改方案后）

如图 13-44 所示，修改后，只需要 22 秒就可以冷却了。

(2) 成型周期（循环时间）

从图 13-45 中可以看出，通过修改冷却系统，减少了 11 秒（47 秒—36 秒）冷却时间（此



处原始方案、修改方案均指对冷却系统而言；循环时间，按浇注系统方案 3 计算）。

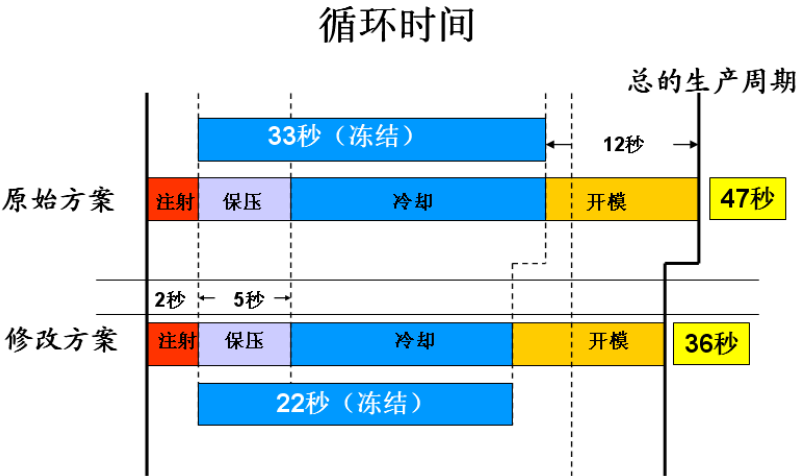


图 13-45 前后方案的成型周期（循环时间）

总结：

（1）简化了浇注系统

如图 13-46 所示为四种方案的浇注系统。减少了流道重量（节省材料），更容易加工。

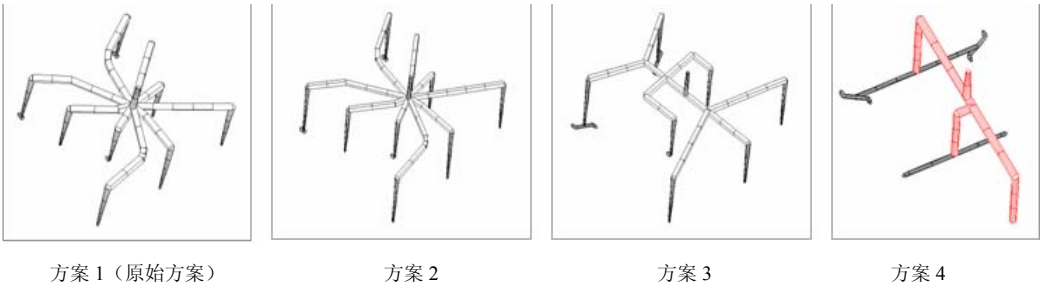


图 13-46 四种方案的浇注系统

各方案的浇注系统流道体积比较见表 13-1。

表 13-1 各方案的浇注系统流道体积

方案	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
流道体积	129.4 cm ³	64.3cm ³	52.1cm ³	7.5cm ³

（2）锁模力比较

各方案的锁模力比较见表 13-2。

表 13-2 各方案的锁模力比较

方案	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
锁模力	255t	350t	298t	276t

（3）循环时间

各方案的循环时间比较见表 13-3。



表 13-3 各方案的循环时间比较

方案	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
循环时间	54s	43s	36s	30s

如图 13-47 所示为优化前后的浇注系统。从上述表格和图中可得出以下结论：

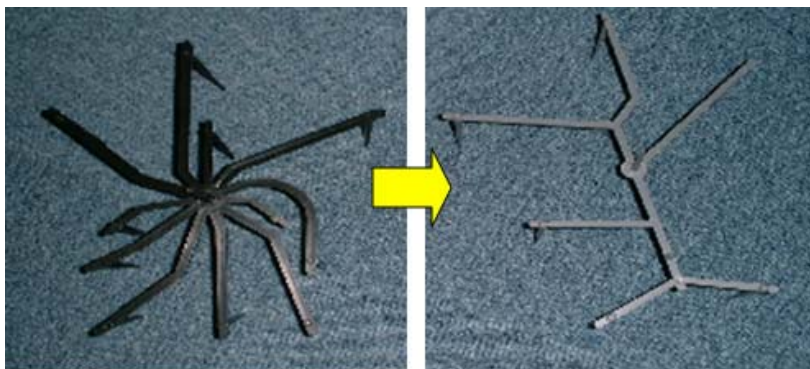


图 13-47 优化前后的浇注系统

- 1) 不推荐使用热流道。原因是模具成本上升，填充依然不均匀。
- 2) 变形量在设计精度范围内。
- 3) 通过修改浇注系统和冷却系统，可缩短生产周期 $(54s-36s)=18s$ 。



参 考 文 献

- [1] 王刚, 单岩. Moldflow 模具分析应用实例[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [2] 陈立亮. 材料加工 CAD/CAE/CAM 技术基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [3] 李名尧. 模具 CAD/CAM[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [4] 杨宁. 注塑成型过程的数值模拟[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南工业大学材料加工工程学院, 2001.
- [5] 李德群. 注塑成型流动模拟技术的新进展[EB / OL]. <http://www.55jx.com/Html/xjziliao/085517623.htm>, 2004-12-16.
- [6] 申长雨, 陈静波, 刘春太. CAE 技术在注射模设计中的应用[J]. 模具工业, 2000 (8): 36-38.
- [7] 程斌. 注塑模 CAD/CAM 系统的研究与开发[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学机械学院, 2000.
- [8] 李德群. 注射模软件三个发展阶段[J]. 模具工业, 1998 (6): 14-15.
- [9] 张宜生, 李德群, 周华民. 三维注塑成型模拟系统的研究和应用[J]. CAD/CAM 与制造业信息化, 2003 (12): 16-18.
- [10] 单岩, 王蓓, 王刚. Moldflow 模具分析技术基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [11] 李德群. 精密注塑 CAE 技术的应用及发展[EB / OL]. http://baike.machine365.com/ali_baike/arts/070104/24/166069_4.html, 2007-01-04.
- [12] B. H. Lee, B. H. Kim. Optimization of part wall thicknesses to reduce warpage of injection-molded parts based on the modified complex method[J]. Polymer-plastics technology engineering, 1995, 34(5): 793.
- [13] B. H. Lee, B.H. Kim. Automated design for the runner system of injection molds based on packing simulation [J]. Polymer-plastics technology engineering, 1996, 35(1): 147.
- [14] B.H.Lee, B.H.Kim. Automated selection of gate location based on desired quality of injection-molded part[J]. Polymer-plastics technology engineering, 1996, 35(2): 253.
- [15] B.H.Lee, B.H.Kim. Variation of part wall thicknesses to reduce warpage of injection-molded part: robust design against process variability[J]. Polymer-plastics technology engineering, 1997, 36(5): 791.
- [16] 陈立周. 工程稳健设计[J]. 机械设计, 1998, (7): 4.
- [17] 郑生荣, 辛勇等. 注塑参数优化研究方法[J]. 中国塑料, 2003, 17 (4): 1-7.
- [18] 王德翔, 刘来英等. 基于人工神经网络技术的注塑成型工艺参数优化[J]. 模具技术, 2001, (6): 1-4.
- [19] 刘春太, 肖长江等. 基于遗传算法的注塑成型充模过程优化[J]. 郑州大学学报, 2002, 23 (4): 4-8.
- [20] 朱显, 黄国立等. 基于遗传算法的注塑工艺优化设计[J]. 机械设计与制造工程, 2001, 30 (1): 13.
- [21] 郑生荣, 辛勇等. 基于混合神经网络与遗传算法方法的注塑参数优化[J]. 计算机应用, 2004, 24 (2): 92-94.
- [22] 朱春东. 薄壳件注塑成型的计算机模拟及工艺参数优化[D]. [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学材料科学与工程学院, 2004.
- [23] 王利霞, 王蓓等. 工艺参数对注塑制品质量的影响研究[J]. 郑州大学学报, 2003, 24 (3): 62-66.
- [24] Ming-Chih Huang, Ching-Chih Tai. The effective factors in the warpage problem of an injection-molded part with a thin shell feature[J]. Journal of materials processing Technology, 2001, 110(1): 1-9.
- [25] 金新明, 朱学峰. 用正交法研究注塑过程参数对产品质量的影响[J]. 华南理工大学学报, 2000, 28 (9): 77.
- [26] 王蓓, 王利霞等. 基于神经网络的注塑成型工艺优化[J]. 塑料工业, 2003, 31 (5): 31-34.
- [27] 马文琦, 孙红镜. 塑料成型模拟软件技术基础与应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006.



- [28] 魏生民, 朱喜林. 机械 CAD/CAM[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2001.
- [29] 屈华昌. 塑料成型工艺与模具设计[M]. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [30] D.H.Harry and R.g. Parrott. Numerical simulation of injection mold filling[J]. Polym. Eng. Sci., 1970, 10, 209-214.
- [31] C.A.Hieber. Coupled-Flow-Path method for simulation the injection-molding filling stage [J]. Soc. Plastics Engrs. Tech. Papers, 1982, 28, 356-358.
- [32] Z.Tadmor, E. Broyer and C. Gutginger. Flow analysis network(FAN) -A method for solving flow problems in polymer processing[J]. Polymer ng. AndSci., 1974, 14(3): 48-57.
- [33] C.A.Hieber,S.F.Shen, A finite-element/finite-difference simulation of the injection-molding filling processing[J]. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 1980, 9, 1-32.
- [34] V.W.Wang, C.A.Hieber and K.K.Wang. Dynamic simulation and Graphics for the Injection Molding of Three-Dimensional Thin Parts[J]. Journal of Polymer Engineering, 1986, 7(1): 22-45.
- [35] 李志刚. 中国模具设计大典(第一卷)[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 2003.
- [36] 张宜生, 梁书云等. 注射模 CAD/CAR/CAM 系统的实用化与集成化[J]. 模具工业, 1997, 201 (11): 6-8.
- [37] W.Cao, R Wang,C.Y.Shen. Flow analysis on solid geometry[J]. 郑州大学学报(工学版), 2003, 24(3): 57-61.
- [38] 沈洪雷, 董祥忠. 大型注塑模具设计优化[J]. 现代塑料加工应用, 2003, 15 (3): 49-50.
- [39] 黄虹. 塑料成型加工与模具[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [40] 邱斌. 保压冷却阶段中保压压力和保压时间对制品质量的影响[D]. [硕士学位论文]. 广州华南理工大学, 2005.
- [41] 张国梁. 基于 CAE 的注塑工艺参数优化及制品质量影响的研究[D]. [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2004.
- [42] 白新桂. 数据分析与实验优化设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 1986.
- [43] 陈曦. 基于质量的注塑过程建模方法研究[D]. 博士学位论文. 杭州: 浙江大学, 2001. 8.
- [44] 吴正毅. 测试技术与测试信号处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997, 10: 121-137.
- [45] 万安民. 注塑工艺条件与制品收缩的关系[J]. 航天工艺, 1996 (1): 36-37.
- [46] 梁汉琼. 注塑制品薄壁化技术[J]. 国外塑料, 1996 (3): 31-34.
- [47] 李伟, 李荣勋. CAE 在注射模具缺陷分析中的应用与研究[J]. 塑料, 2000, 29 (6): 28-31.
- [48] 祝铁丽, 王敏杰. 注塑成型制品收缩率研究进展[J]. 模具技术, 2002 (1): 10-12.
- [49] 李海梅, 顾元宪. 注塑件的翘曲变形分析与成型尺寸预测[J]. 中国机械工程, 2002, 13 (10): 820-823.
- [50] 郭志英, 李德群. 注塑制品翘曲变形的研究[J]. 塑料科技, 2001, 141: 22-24.
- [51] 李海梅, 刘永志等. 注塑件翘曲变形的 CAE 研究[J]. 中国塑料, 2003, 17 (3): 53-58.
- [52] 郭志英, 李德群. 注塑制品翘曲变形有限元数值模拟的误差分析[J]. 华中理工大学学报, 2000, 28 (8): 63-65.
- [53] 张君. 基于 CAE 技术的注塑模浇注系统优化设计[D]. [硕士学位论文]. 合肥:合肥工业大学材料加工工程学院, 2003.
- [54] 杨宁. 注塑成型过程的数值模拟[D]. [硕士学位论文]. 长沙:中南工业大学材料加工工程学院, 2001.
- [55] Newmark. 注塑成型模拟的新维数[EB / OL]. http://baike.machine365.com/arts/070108/24/166718_1.html, 2007-01-08.
- [56] 董斌斌, 李倩, 陈静波. 基于 CAE 技术的注塑模具设计[J]. 中国塑料, 2002 (1): 23-25.



- [57] 王利霞. 基于数值模拟的注塑成型工艺优化[D]. [博士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2004.
- [58] 王蓓. 基于 CAE 技术的注塑成型工艺优化和工艺控制[D]. [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2003.
- [59] 刘春太. 基于数值模拟的注塑成型工艺优化和制品性能研究[D]. [博士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2003.
- [60] 陈建华. 塑料注塑制品翘曲变形研究[D]. [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学机械工程学院, 2006.
- [61] 王轶为. 注塑模 CAE 分析的定向解释系统研究[D]. [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学机械与动力工程学院, 2002.
- [62] 董斌斌. 注塑成型过程 CAE 的工程技术应用研究[D]. [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2002.

